ENDEAVOUR

Revue trimestrielle, publiée en cinq langues et destinée à tenir registre du progrès des sciences au service du genre humain

VOLUME XIX Avril 1960 NUMÉRO 74

SOMMAIRE

070.42:06.044.2:061.22(421)
Article de Tête: Quelques Présidents éminents de la *Royal Society* 59

621.039.6(73)
Le stellarator et les recherches sur l'énergie thermonucléaire aux Etats-Unis — M. B. GOTTLIEB, B.S., Ph.D. — 62

061.22.009(421)
Les relations étrangères de la *Royal Society* — E. N. DA C. ANDRADE, D.Sc., Ph.D., LL.D., F.R.S. et D. C. MARTIN, C.B.E., B.Sc., Ph.D., F.R.I.C., F.R.S.E. — 72

591.31
La nidation de l'œuf fécondé — M. C. SHELESNYAK, B.A., Ph.D. — 81

523.34
Origine et nature de la Lune — H. C. UREY, B.S., Ph.D., D.Sc., For. Mem. R.S. — 87

576.354.4
Distribution des matériaux cellulaires au cours de la méiose — A. LONGWELL, B.A., Ph.D., et M. MOTA, Engº Agrónomo — 100

581.174.2
Les cytochromes végétaux — W. O. JAMES, M.A., D.Phil., F.R.S. et RACHEL M. LEECH, B.A. — 108

049.3
Revue des livres 115

Brèves notices bibliographiques 119

Notes biographiques sur les collaborateurs 120

Livres reçus .. .. Couverture III

Rédacteur en chef: TREVOR I. WILLIAMS, M.A., B.Sc., D.Phil., F.R.I.C.
Rédacteurs adjoints: G. N. J. BECK, B.Sc., A.M.I.E.E. (*Pour les éditions étrangères*)
W. A. OSMAN, B.Sc., M.Sc., A.R.C.S.

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

Quelques Présidents éminents de la *Royal Society*

C'est le mérite collectif de ses membres qui fait la force d'une société; mais c'est, d'autre part l'initiative de ses dirigeants qui permet de mettre cette force en valeur. Tel un chef d'état, le Président d'une société ne doit pas seulement la représenter, mais s'identifier à elle. La *Royal Society* a eu la chance, au cours de ses trois siècles d'existence, de pouvoir se donner des Présidents qui non seulement lui ont fait honneur au point de vue scientifique, mais lui ont permis également d'éviter nombre d'écueils d'ordre pratique. Une cinquantaine de Présidents ont tenu successivement la barre de la Société depuis sa fondation, et il semble opportun d'évoquer les services qu'ils lui ont rendus, au moment où elle va fêter son tricentenaire.

D'après les archives de la Société, son premier Président, le vicomte Brouncker, est resté cinq ans en fonctions à partir de la date où le sceau royal fut apposé à la première Charte, le 15 juillet 1662. Cependant le tricentenaire que nous célébrons cette année est celui d'un autre événement: la réunion du 28 novembre 1660, au cours de laquelle la jeune «Société Philosophique» d'Oxford fut régulièrement constituée. Parmi ceux dont l'intervention procura plus tard à la Société le puissant viatique du patronage royal, Sir Robert Moray était le plus marquant. Au début on élisait un Président tous les mois et, jusqu'à l'octroi de la Charte, Moray occupa le fauteuil plus souvent qu'aucun autre; ce seul titre lui aurait donné le droit de figurer ici. Mais il avait en outre été un loyal serviteur et ami de Charles I et avait imaginé en 1646 un plan d'évasion qui aurait permis au Roi de gagner le Continent. Au dernier moment les hésitations du monarque firent échouer le plan. Par la suite Moray lui-même passa quelques années d'exil sur le Continent, où il consacra à la science une grande partie de ses loisirs. Après la restauration de la monarchie en mai 1660, sa compétence en politique et l'amitié de Charles II lui donnèrent à la Cour une grande influence qu'il employa pour faire reconnaître officiellement la Société Philosophique. Moray n'était pas un grand savant, mais aucun autre Président n'a plus que lui mérité de la Société.

Brouncker était un mathématicien de renom et sa part dans les négociations qui aboutirent à la fondation de la Société fut prépondérante. Christopher Wren, Président de 1680 à 1682, appartenait au même groupe; bien qu'il ait été un astronome, ayant professé l'astronomie à *Gresham College*, à Londres, puis à Oxford, il est évidemment mieux connu comme architecte.

Newton occupa la présidence pendant presque tout le premier quart du XVIIIe siècle, depuis son élection en 1703 jusqu'à sa mort en 1727. Il suffit de rappeler ici à propos de Newton qu'il fut le plus grand génie qui ait figuré sur les registres de la Société et le plus grand savant que le monde ait connu. Sous sa direction, à laquelle il consacra beaucoup de son temps, la Société acquit un prestige considérable. Sir Hans Sloane, son successeur, fournit également une assez longue carrière présidentielle: de 1727 à 1741. Médecin et naturaliste distingué, Sloane était aussi un administrateur énergique et expérimenté, pour le plus grand bien de la Société. Il est cependant probable que c'est en qualité de Secrétaire, poste qu'il occupa de 1693 à 1712, qu'il fut le plus utile à la Société. C'étaient des années très difficiles au point de vue financier et c'est grâce surtout à Sloane et à Sir John Hoskins, un des vice-présidents, que l'on put surmonter les difficultés.

A ses débuts la Société dut faire face à la nécessité de se procurer suffisamment de dotations pour parer aux éventualités, malgré l'impécuniosité notoire des hommes de science. Dès lors on adopta la coutume d'élire comme membres des hommes plus riches d'argent que de science, et ceux-ci furent bientôt plus nombreux que les savants. Vers la fin du XVIIIe siècle il arrivait parfois que pas un des membres du bureau ne fût un savant de carrière. Certains Présidents, par contre, réunissaient toutes les qualités souhaitables. Par exemple, Lord Macclesfield (1752–64) possédait dans le Comté d'Oxford un observatoire pourvu du meilleur outillage que l'on pût trouver alors. Son successeur, Lord Morton (1764–68), fut aussi un astronome de marque. Il mérite ici une mention spéciale en raison de sa participation active aux préparatifs du voyage que Cook entreprit dans l'*Endeavour* pour observer le transit de Vénus en 1769.

Pour le même motif Sir Joseph Banks nous intéresse particulièrement, car, dans sa jeunesse, il participa à la célèbre expédition de Cook en qualité de chef du personnel scientifique. Ceci ne

fut que le début d'une brillante carrière au cours de laquelle il présida la *Royal Society* pendant 41 ans, bien plus longtemps qu'aucun autre. Banks était riche et s'intéressait vivement à la botanique et à l'agriculture. L'amitié que lui portait George III, et sa pléiade d'amis influents faisaient de lui une puissance. Ce sont les circonstances qui, alliées à son dévouement pour la Société, donnèrent un tel lustre à sa présidence. Après lui, William Wollaston Hyde, un chimiste distingué, n'occupa le fauteuil que quelques mois et céda la place à un autre grand chimiste, Sir Humphry Davy (1820–27).

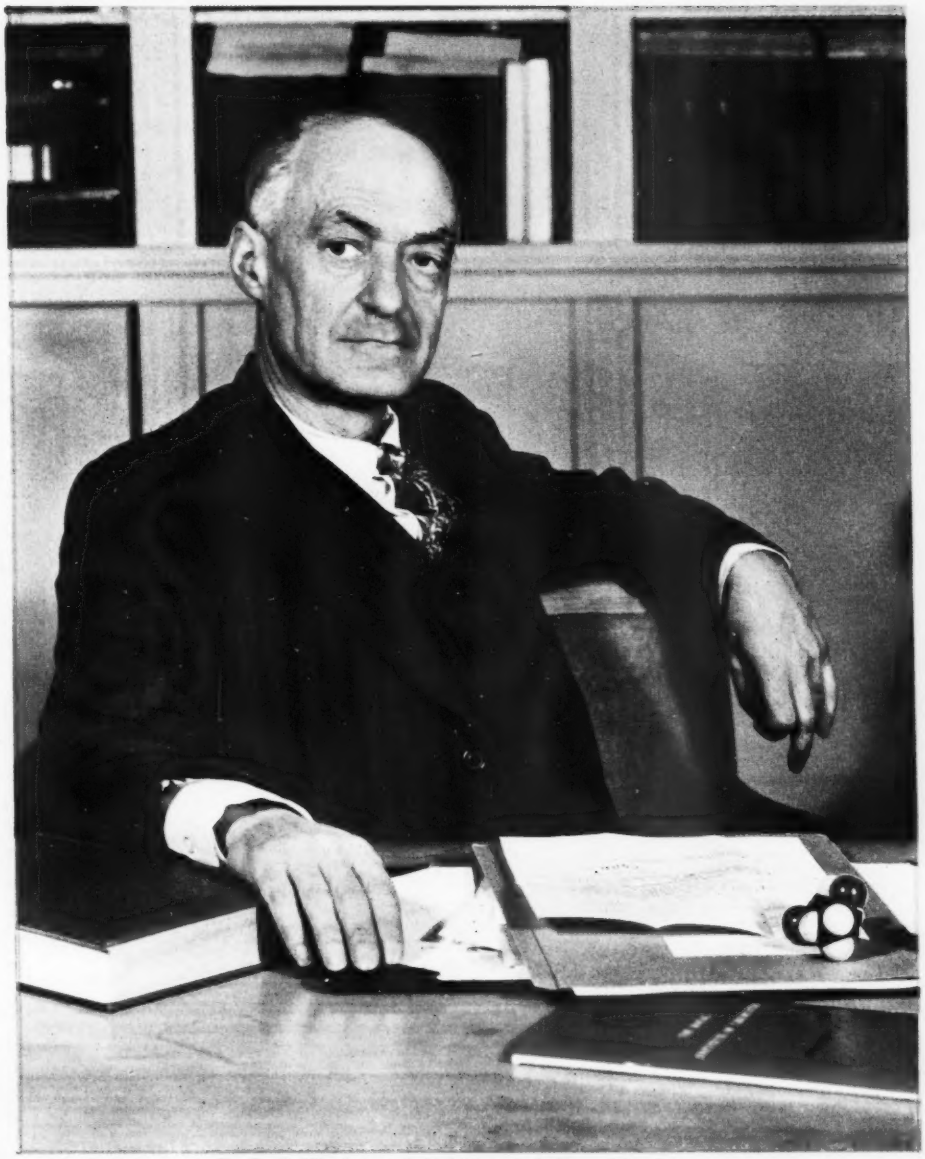
Vers le milieu du XIXe siècle on trouva des inconvénients aux longues carrières présidentielles. Quand Sir Joseph Hooker, un des directeurs les plus remarquables du Jardin de Kew, fut élu en 1873, il n'accepta la charge qu'à condition qu'il n'occuperait pas la présidence plus de cinq ans. Ce précédent fut constamment suivi depuis. Après Hooker, vint le biologiste Thomas Henry Huxley (1883–85) célèbre pour la vigoureuse défense de la théorie de l'évolution au plus fort de la controverse à ce sujet. Il fut suivi de près par Lord Kelvin (1890–95) mathématicien et physicien distingué et homme d'affaires avisé.

Depuis le début du siècle actuel plusieurs des Présidents ont été des physiciens: Sir William Huggins (1900–5) fut un pionnier de l'astrophysique; Lord Rayleigh (1905–8) fut le dernier des grands physiciens «classiques» et le premier titulaire du Prix Nobel à occuper la présidence. Trois pionniers de la physique nucléaire le suivirent: Sir J. J. Thomson (1915–20), Lord Rutherford (1925–30) et Sir William Bragg (1935–40). L'influence considérable qu'exercèrent leurs travaux sur la science et la civilisation modernes les met au rang des géants de la science. D'autres Présidents furent éminents dans d'autres domaines, notamment Sir William Crookes (1913–15) qui entre autres travaux prédit l'existence des isotopes, découvrit le thallium et identifia au moyen du spectroscope les gaz inertes de l'atmosphère découverts par Ramsay; Sir Frederick Gowland Hopkins (1930–35), père de la biochimie, et enfin un des pionniers de l'étude du système nerveux, Sir Charles Sherrington (1920–25).

Les précités sont des célébrités du passé qui ont laissé leur empreinte sur l'histoire de la *Royal Society*. Mais nous nous réjouissons d'avoir encore parmi nous trois anciens Présidents qui assisteront aux manifestations du Tricentenaire: Sir Henry Dale (1940–45), Sir Robert Robinson (1945–50) et Lord Adrian (1950–55). Ils travaillent encore activement, chacun dans son domaine, où il s'est fait une réputation internationale. Leur tâche, en tant que Présidents a été de diriger la Société pendant la dernière guerre et les années difficiles de l'après-guerre.

La fonction de Président revêtira une importance spéciale lors du Tricentenaire, qui sera marqué par une réunion à Londres de délégués venus de tous les principaux centres de recherche scientifique du monde entier. C'est par un heureux hasard qu'à un tel moment ce soit Sir Cyril Hinshelwood qui préside aux destinées de la Société, car peu d'autres savants s'intéressent à autant de domaines et entretiennent autant de contacts internationaux. Ses travaux sur la cinétique des réactions ont établi un lien étroit entre la chimie et la physique et, ultérieurement, au cours de recherches d'un intérêt palpitant sur la cinétique de la croissance bactérienne, il a fait intervenir à la fois des méthodes physiques, chimiques et biologiques. La qualité de son enseignement est à la hauteur de la souplesse de son génie, comme le savent bien ceux qui ont été ses élèves à Oxford; car c'est à cette université, autrefois le lieu de réunion des futurs fondateurs de la *Royal Society*, qu'il consacra presque toute sa carrière. Si Oxford, restée la citadelle des humanités, est également devenue aujourd'hui un centre de recherche scientifique de réputation mondiale, c'est grâce à la persévérance du groupe restreint de ses savants, parmi lesquels Hinshelwood a longtemps occupé la première place.

Les réalisations de Hinshelwood hors du cadre scientifique sont également notables. Remarquablement doué pour les langues, il connaît bien le français, l'allemand, l'espagnol, le russe et l'italien et — chose rare en Occident — il peut se tirer d'affaire en chinois. Sa maîtrise des humanités classiques lui a permis d'occuper à la fois la présidence de la *Classical Association* et celle de la *Royal Society*. Il est un amateur éclairé de porcelaines chinoises et exécute avec une certaine compétence des peintures à l'huile. Hinshelwood est très individualiste comme savant, n'appartenant à aucune école, et, en outre, il est une vivante contradiction de la croyance, par trop répandue, que les savants sont tous des spécialistes bornés, sans culture générale. Il continue bien la tradition des Présidents de la *Royal Society* dans ce qu'elle a de meilleur, et nous sommes fiers de le voir à la tête de l'illustre Société en cette année du Tricentenaire.



Sir Cyril Hinshelwood, Président de la Royal Society.

Le stellarator et les recherches sur l'énergie thermonucléaire aux Etats-Unis

par M. B. GOTTLIEB

Les travaux préliminaires d'équipement dans le domaine thermonucléaire ont déjà été exposés dans ENDEAVOUR. Un certain nombre de solutions possibles ont été envisagées en ce qui concerne le problème du chauffage et des moyens de confinement d'un gaz complètement ionisé. On trouvera dans cet article un aperçu des recherches américaines dans ce domaine et en particulier des études relatives au stellarator.

Le premier compte rendu détaillé des travaux effectués par les Etats-Unis depuis 1951 a été présenté en 1958, lors de la Conférence de Genève. Ces travaux avaient pour but la production d'énergie par fusion contrôlée à partir du deutérium. Une vue d'ensemble en a été donnée par A. Bishop [1]. Pour une étude plus détaillée, on peut se reporter aux Comptes Rendus de la Conférence [2]. Nous ne décrirons ici que les travaux effectués à la suite de celle-ci. Les concepts physiques fondamentaux relatifs à l'effet de strictions et les premiers résultats obtenus en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis ont été exposés dans ENDEAVOUR [3].

Les principales réactions qui se produisent normalement à partir du deutérium sont

$$^2H + {}^2H \rightarrow {}^3H + \text{neutron} + 3{,}3 \text{ MeV} \quad .. \quad (1)$$

$$^2H + {}^2H \rightarrow {}^3H + {}^1H + 4 \text{ MeV} \quad .. \quad .. \quad (2)$$

les probabilités de l'une et l'autre de ces réactions sont sensiblement les mêmes. Le triton (^3H) produit peut réagir ensuite avec un autre deutéron

$$^2H + {}^3H \rightarrow {}^4He + \text{neutron} + 17{,}6 \text{ MeV} \quad .. \quad (3)$$

On pourrait partir également d'un mélange deutérium-tritium et réaliser la réaction (3) qui a lieu à plus basse température. Dans les deux cas la réaction nécessite un rapprochement des deux noyaux chargés électriquement. Ce rapprochement implique la mise en jeu d'énergies importantes du fait de la répulsion électrostatique entre les particules. De plus, le domaine dans lequel se manifestent ces forces électrostatiques est très étendu et la plupart des collisions donnent lieu, non pas aux réactions de fusion, mais à une déflexion et une diffusion des particules. Ainsi, à partir d'un faisceau de particules initialement monoénergétique, on tend très rapidement vers une répartition au hasard des directions des vitesses et la distribution des vitesses devient une distribution de Maxwell-Boltzmann. On peut caractériser cet état au moyen d'une température qui est de l'ordre de 10^8 °K pour un réacteur à fusion. Les électrons sont arrachés de tous les atomes, même des atomes lourds, et le plasma résultant consiste en un assemblage neutre d'ions et d'électrons. Les densités nécessaires pour l'obtention de puissances de sortie convenables sont de l'ordre de 10^{15} à 10^{16} par cm^3, soit environ un dix-millième de la densité sous la pression atmosphérique normale. A de telles températures le libre parcours moyen des particules, c'est-à-dire la distance moyenne entre deux collisions, est beaucoup plus grand que les dimensions d'une enceinte quelconque contenant le plasma. Il y a refroidissement des particules lorsque celles-ci frappent les parois. On doit donc éviter ces collisions et les seules méthodes permettant d'en limiter le nombre font intervenir des champs magnétiques.

Le problème consiste donc à rendre la puissance de sortie supérieure aux pertes à l'intérieur du système, c'est-à-dire: 1) pertes des plasmas contre les parois; 2) rayonnement; 3) puissance importante dissipée dans les enroulements qui produisent le champ magnétique; 4) pertes de puissance lors de la transformation en énergie électrique. Les deux derniers points sont des problèmes techniques. Les pertes par rayonnement des électrons libres sont bien connues. Ces pertes sont importantes et nécessitent une élimination sévère des impuretés. Le rayonnement dû aux mouvements d'ensemble des particules chargées n'a été étudié qu'imparfaitement jusqu'ici. Néanmoins, le problème de confinement du plasma reste le plus ardu et le plus mal connu actuellement.

Le confinement de particules isolées et chargées dans un champ magnétique est basé sur le fait qu'une particule chargée de masse m (grammes)

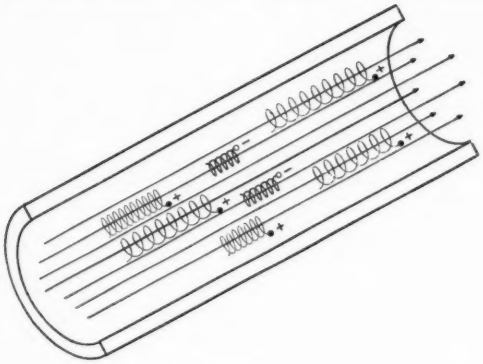


FIGURE 1

se déplaçant suivant une direction perpendiculaire à un champ magnétique B (gauss) à la vitesse v (cm/sec), suit une trajectoire circulaire de rayon $r(\text{cm}) = cmv_{\perp}/qB$ avec une fréquence $f_c = qB/2\pi m$, q étant la charge de la particule (u.é.m.).

Toute composante de la vitesse parallèle au champ magnétique ne subit aucune action de la part du champ. Les particules décrivent donc en général une spirale autour des lignes de champ magnétique, comme l'indique la figure 1. On pourra se représenter un long tube cylindrique contenant les particules chargées et à l'intérieur duquel règne un champ magnétique parallèle à l'axe. L'action du champ évite aux particules d'aller heurter les parois et leur donne une trajectoire suivant les lignes de champ. Si l'on néglige pour le moment l'effet dû aux extrémités, il semble que le problème soit résolu. Lorsque la concentration des particules augmente, la situation devient plus complexe: les particules chargées en mouvement agissent sur le champ magnétique et d'autre part il y a lieu de considérer un mouvement d'ensemble des particules chargées dû à la nature des forces électrostatiques dont le domaine d'action est très étendu.

Comme un gaz ordinaire, un plasma peut être étudié en fonction de la position et de la vitesse de chaque particule (ceci est compliqué par le fait que les particules du plasma sont chargées) ou, à la manière d'un fluide continu, caractérisé par des propriétés telles que la densité, la pression, la densité de charge, la température, la viscosité, la constante diélectrique. Cette dernière méthode est plus simple mais plus limitée.

Dans l'un ou l'autre cas, les approximations physiques et mathématiques sont assez sévères. Alors que la théorie des plasmas a fait de grands pas au cours des dernières années, il reste un long chemin à parcourir avant d'être en mesure d'appliquer la majeure partie des résultats aux cas expérimentaux importants.

Bien que contraints de se déplacer suivant des orbites circulaires, les ions et les électrons portés à haute température exercent sur le champ magnétique une pression de nkT (équation d'état classique d'un gaz parfait), où n est le nombre de particules par cm^3, k la constante de Boltzmann et T la température en degrés Kelvin. L'action du champ magnétique sur le plasma est équivalente à une pression de $B^2/8\pi$ dynes/cm^2.

Il est intéressant d'évaluer l'ordre de grandeur de quelques quantités physiques. Dans une chambre de réaction, la pression exercée vers l'extérieur à la température de 2×10^8 °K et pour une densité d'ions et électrons de 10^{16}/cm^3, vaudrait $1{,}4 \times 10^8$ dynes/cm^2, soit 140 atmosphères environ.

Le champ magnétique minimum, B, nécessaire pour confiner ce plasma est alors donné par la relation $B^2/8\pi = 1{,}4 \times 10^8$, soit $B \sim 60\,000$ gauss.

Ainsi la pression due au plasma est équilibrée par celle d'un champ magnétique.

On peut montrer que la variation de champ magnétique «vue» par la particule lorsqu'elle décrit un tour, est faible. La particule continue donc à décrire son orbite autour des mêmes lignes de force, que celles-ci soient incurvées ou non. On peut dire que l'ensemble plasma et champ est réellement «gélifié». Ceci provient du fait qu'un plasma à haute température est un excellent conducteur, supérieur au cuivre à température ordinaire. Les mouvements du plasma entraînent les lignes de champ et vice-versa. Ces effets sont appelés effets magnétohydrodynamiques ou hydromagnétiques.

Cependant, ce confinement magnétique n'est pas parfait. Deux mécanismes permettent aux particules de traverser un champ magnétique même uniforme. Le premier, illustré dans la figure 2, est celui des collisions. Lorsqu'une particule se déplace sur son orbite, elle peut en

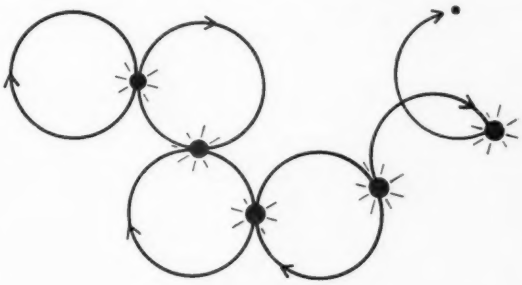
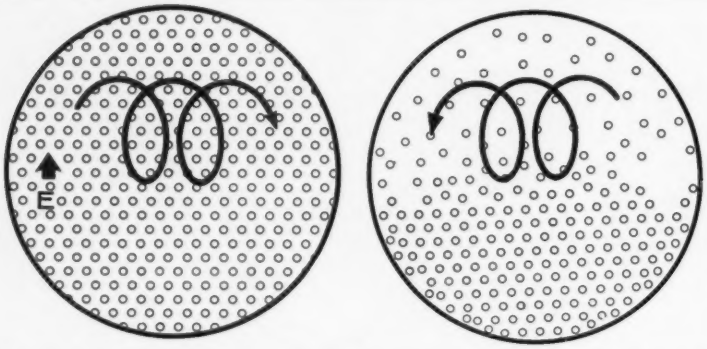


FIGURE 2



FIGURES 3 et 4 – *Les petits cercles représentent les lignes de force du champ magnétique B.*

rencontrer une autre, auquel cas la trajectoire sera ensuite un nouveau cercle (ou spirale) déplacé suivant une direction quelconque d'une quantité valant environ un rayon de l'orbite précédente. L'effet d'un grand nombre de collisions de ce type est de produire une trajectoire au hasard ou une dérive à travers le champ magnétique; la vitesse de dérive devrait être inversement proportionnelle au carré de l'intensité du champ magnétique. Lorsque la pression varie avec la position, les collisions sont plus fréquentes dans la région de haute pression. Il y a donc un plus grand nombre de particules diffusées depuis les régions de haute pression vers les régions de basse pression que dans la direction opposée. Ceci produit un mouvement à travers le champ, d'intensité $(\eta/B^2)\nabla p$, où η est la conductivité électrique, B le champ magnétique et ∇p le gradient de pression [4]. On peut calculer facilement la perte d'énergie due aux collisions entre particules simples; de telles pertes ne sont pas très importantes dans le cas des réacteurs thermonucléaires.

Considérons maintenant l'effet d'un champ électrique perpendiculaire au champ magnétique, comme l'indique la figure 3. Lorsqu'une particule positive se dirige vers le haut, elle est accélérée par le champ électrique (E) et le rayon de courbure de la trajectoire augmente graduellement; cependant la particule continue à décrire une courbe et se retrouve dans une direction opposée à celle du champ électrique. Elle est alors ralentie et le rayon de courbure diminue. Le phénomène se poursuit et il en résulte une dérive perpendiculaire à E aussi bien qu'à B.

Appliquons ce qui précède à un plasma cylindrique dans le système de coordonnées z, r, θ (z étant la distance suivant l'axe du cylindre, r la distance à partir de l'axe et θ l'angle compté à partir de l'axe). La direction du champ magnétique étant celle de l'axe z, un champ électrique dirigé suivant z produira une accélération de la particule le long de z, un champ électrique radial (suivant r) produira une rotation du plasma, tandis qu'un champ électrique dirigé suivant la direction θ produira un déplacement radial, c'est-à-dire un mouvement vers les parois.

Si le champ magnétique n'est pas constant à travers l'orbite de la particule, la courbure locale varie lorsque la particule se déplace sur son orbite. Il en résulte une dérive perpendiculaire à B et à la direction suivant laquelle B varie (∇B), comme le montre la figure 4.

CHAUFFAGE

Au problème du confinement magnétique du plasma s'ajoute celui du chauffage du gaz aux températures élevées nécessaires à la réaction de fusion. Ce problème ne peut pas être totalement séparé de celui du confinement, car si le confinement est mauvais les pertes d'énergie sont importantes. De la même manière, il est évident que certains modes de chauffage semblent entraîner des perturbations qui réduisent l'efficacité du confinement magnétique. Le schéma de chauffage peut être décrit à partir de ses deux phases extrêmes. On peut partir du deutérium gazeux (ou du mélange deutérium-tritium) à la température ambiante et tenter le chauffage *in situ* de ce gaz par des moyens électromagnétiques, ou encore injecter un faisceau de particules à haute énergie dans le système et réaliser leur dispersion suivant un certain mécanisme et atteindre ainsi un équilibre cinétique. Des compromis variés sont possibles.

L'EFFET DE STRICTION

L'une des plus anciennes études faites aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne, et la plus simple à bien des points de vue, est celle de la décharge réalisant le confinement.

Si un courant suffisamment important traverse le gaz, le champ magnétique qui entoure le courant comprime cette colonne parcourue par le courant. La compression échauffe le plasma (comme la compression élève la température d'un gaz ordinaire). Ainsi, au moyen de courants de grande intensité, on réalise à la fois le confinement

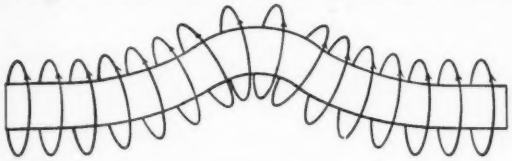


FIGURE 5

et le chauffage. Malheureusement, on montre théoriquement et expérimentalement que ce confinement est instable. S'il y a déplacement du champ magnétique (ou du plasma) disons suivant une coque semblable à celle de la figure 5, les lignes de champ magnétique sont déviées. Le champ croît dans la région inférieure et décroît dans la région supérieure, tendant à accentuer le déplacement. Le champ magnétique et le plasma dérivent l'un et l'autre vers les parois.

On a montré qu'un modèle modifié, la striction stabilisée, était théoriquement stable. Suivant ce concept, un champ magnétique serait appliqué initialement suivant l'axe du tube comme l'indique la figure 6*a*. Un courant important traverserait alors le plasma. Lorsque la décharge réalise le confinement, le champ magnétique serait emprisonné dans le plasma et comprimé comme le montre la figure 6*b*. Les lignes circulaires de champ magnétique produites par la colonne conductrice entoureraient cette colonne et le champ magnétique longitudinal emprisonné, et en resteraient séparées. Les propriétés physiques des lignes de force sont semblables à celles de bandes élastiques, elles tendraient à s'opposer à la déformation en coques, en particulier aux faibles longueurs d'onde. Les longueurs d'onde plus grandes seraient stabilisées par les parois conductrices, puisque le mouvement des lignes de force à l'intérieur des parois donnerait naissance à des courants de Foucault dont la direction est telle que la force résultante s'opposerait au mouvement.

Malheureusement, la théorie suppose une conductivité infinie du plasma. Si l'on considère une valeur finie de la conductivité il n'est pas possible de conserver une séparation nette des lignes de force circulaires et des lignes de force longitudinales. Il s'ensuit que cette configuration est hydromagnétiquement instable, ce que vérifie l'expérience.

Le groupe de Los Alamos, sous la direction de J. L. Tuck, et le groupe de Livermore sous la direction de S. A. Colgate ont réalisé toute une série d'expériences minutieuses montrant les modes d'instabilités. Un confinement stable est-il possible? D'autres travaux théoriques ont montré

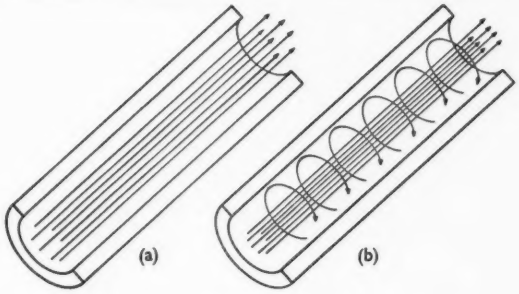


FIGURE 6

que cette possibilité existait pour des intervalles de temps très courts. Cependant les configurations de champ magnétique nécessaires sont très complexes et on ne sait pas encore si de telles configurations peuvent être réalisées actuellement au laboratoire.

LE MIROIR MAGNÉTIQUE

On a montré que le mouvement circulaire des particules chargées dans un champ magnétique limite leur déplacement à travers le champ, mais permet un mouvement suivant la direction du champ. Considérons maintenant le mouvement d'une particule chargée se déplaçant dans le champ magnétique représenté figure 7. A chaque instant la force est perpendiculaire au champ. Dans un champ uniforme la trajectoire de la particule est donc une spirale à droite. Lorsque la particule se déplace dans la région où l'intensité du champ augmente, la force exercée sur la particule possède maintenant une composante dirigée vers la gauche et représentée suivant la flèche F. L'effet est de réduire la composante de la vitesse horizontale (en augmentant la vitesse perpendiculairement à B, si la vitesse totale est maintenue constante). Si la force exercée sur la particule est suffisante, la composante de la vitesse horizontale peut effectivement s'inverser. Cette «réflexion» explique le terme de miroir magnétique. Bien entendu, une particule se déplaçant dans la direction horizontale ne subit aucune action de la part du champ magnétique et s'échappe

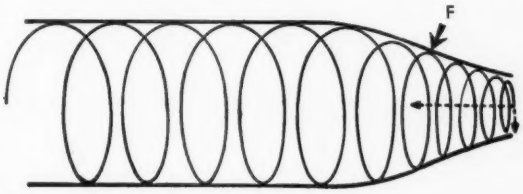


FIGURE 7

à travers le miroir. L'efficacité du miroir magnétique dépend du rapport de la vitesse horizontale à la vitesse suivant une direction perpendiculaire à celle-ci, c'est-à-dire suivant la direction initiale de la particule. En fait, on peut montrer facilement que toutes les particules dont les vitesses initiales (dans une région de champ faible) sont situées à l'intérieur d'un cône de demi-angle θ, vont s'échapper et toutes les autres seront réfléchies par le miroir. θ est donné par $\sin^2\theta = B_{\text{faible}}/B_{\text{fort}}$. Les collisions entre les particules vont fournir de façon continue des particules dont les vitesses sont à l'intérieur du cône, ce qui permettra un flux continu. Les rapports des vitesses ont été estimés théoriquement. Ils n'apparaissent pas prohibitifs pour un réacteur à fusion, en particulier si le réacteur fonctionne à des températures plus élevées que celles qui sont nécessaires. (Dans la collision, la section efficace est inversement proportionnelle au carré de l'énergie). Les données expérimentales [5, 6], sont en accord avec les évaluations théoriques mais une confirmation ultérieure est nécessaire, en particulier pour des températures et des densités plus élevées.

Des travaux très poussés ont été effectués à Livermore sous la direction de R. F. Post sur les aspects théoriques et expérimentaux des configurations à miroirs. Bien qu'un grand nombre d'études aient porté sur différents types d'injection de particules à haute énergie, la majeure partie des travaux se rapporte à l'injection du plasma à faible énergie suivie de compression et chauffage [7]. On réalise le plasma à partir de deux électrodes en titane «chargées» au deutérium gazeux. Le plasma est formé d'électrons portés à une température d'environ un million de degrés (énergie moyenne 100 eV) et d'ions deutérium dont l'énergie est environ 1/10 de l'énergie précédente. Pendant les intervalles de temps nécessaires aux expériences, il se produit un nombre suffisant de collisions pour qu'un équilibre de température se réalise entre les ions et les électrons. Ce plasma est injecté suivant les lignes de force (quelquefois perpendiculairement) pendant l'intervalle de temps où l'énergie est faible mais croissante. Cette injection est suivie d'une ou plusieurs périodes pendant lesquelles on fait croître progressivement le champ. Les lignes de force se déplacent alors vers l'axe. Le plasma étant «lié» aux lignes de force, il se trouve ainsi comprimé et s'échauffe.

De cette façon, on peut estimer que la température des électrons a atteint 10^8 °K, la température des ions étant sensiblement un dixième de celle-ci

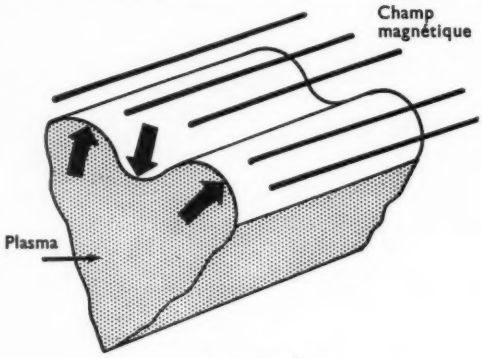


FIGURE 8

et la densité des particules de l'ordre de 10^{13} par cm^3. Apparemment, le temps de confinement de ce plasma est de l'ordre de 30 millisecondes. Ce résultat est très important, car en effet la théorie —assez simplifiée, il est vrai—prévoit que la configuration à miroir magnétique doit être hydromagnétiquement instable. Dans ce cas, l'instabilité prévue est différente de l'instabilité en coque applicable à la décharge du type striction. On a affaire à ce qu'on appelle instabilité alternée ou cannelée, dans laquelle le déplacement du plasma a lieu vers l'extérieur pour une certaine région, et ceci suivant toute la longueur du système, et vers l'intérieur dans la région adjacente. Cette instabilité donne naissance à des ondes progressives, ou cannelures, parallèles aux lignes du champ (figure 8). On peut s'attendre à ce que les particules soient ainsi entraînées vers les parois et que la situation s'aggrave lorsque le rapport de la pression des particules, nkT, à la pression magnétique, $B^2/8\pi$, augmente. Ce rapport est appelé β. Expérimentalement, un β de 8% est suffisant pour que l'on puisse observer ces instabilités [6]. Il est très important de comprendre la raison de cette divergence apparente afin de connaître à l'avance les difficultés qui se présenteront dans ce système, ou dans tout autre, lorsqu'on se rapproche des températures et des densités pratiquement requises dans un réacteur.

Un autre problème important est celui de la réalisation d'un plasma initialement débarrassé de ses impuretés. Environ 50% des ions produits par les sources utilisées dans ces expériences sont des ions lourds constituant des impuretés. Il est vrai que les mécanismes de compression initiale et de fuite à travers le miroir entrent en jeu, excluant les impuretés lourdes et fortement ionisées, mais il est fort improbable que les niveaux d'impureté soient suffisamment bas.

LA STRICTION THÉTA

Ce type de configuration à miroir a été étudié à Los Alamos sous la direction de J. L. Tuck et au *Naval Research Laboratory* sous la direction de A. C. Kolb. Ce modèle met en œuvre un miroir magnétique réalisé par un seul tour comme le montre la figure 9. Le champ croît très rapidement jusque vers 100 000 gauss environ, produisant par induction un champ électrique périphérique. Bien que les détails de ce processus soient assez complexes, on peut s'attendre à ce que ce champ magnétique de contraction ionise la plus grande partie du gaz (à pression suffisamment élevée) et amène le plasma à haute température par compression. Les résultats apparaissent effectifs à une température des ions de 5 à 10 millions de degrés [8, 9]. Le flux de neutrons résultant est de 10^7 neutrons par impulsion; il semble que les champs électriques internes contribuent à la production des neutrons [10].

Malgré tout, il n'est pas encore nettement établi qu'un tel modèle puisse être utilisé dans un réacteur de puissance. Le volume final du plasma est petit par rapport à celui du champ magnétique, ce qui veut dire qu'une quantité importante d'énergie est emmagasinée par le champ magnétique et cette énergie devrait être effectivement restituée.

L'INJECTION ET LE PROGRAMME DCX (EXPÉRIENCE EN COURANT CONTINU)

Au lieu de chauffer le gaz *in situ*, on peut, en accélérant des ions les amener extérieurement à haute énergie et les injecter dans le champ magnétique. Les particules pourraient, par exemple, être injectées longitudinalement aux extrémités du miroir. Par raison de symétrie, on voit que ces particules s'échappent à travers le miroir opposé à moins qu'une collision se produise à l'intérieur de la chambre. Pour des systèmes de dimensions raisonnables, le libre parcours moyen est grand par rapport à ces dimensions et la plupart des particules pourront passer. Dans une injection transversale, après avoir parcouru une orbite circulaire, la particule rencontrerait l'injecteur. En décalant l'injecteur d'un angle faible, de telle façon que la vitesse possède une composante axiale, on peut réaliser une orbite suivant laquelle la particule effectuera plusieurs allers et retours avant de revenir frapper l'injecteur. On réalise ainsi un parcours assez long, durant lequel se produisent des collisions.

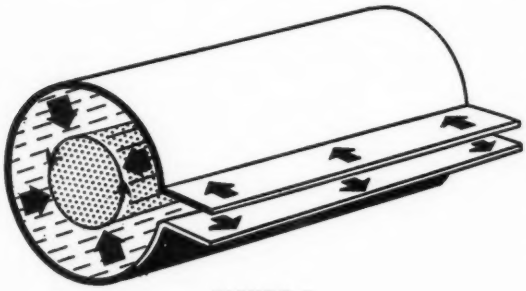


FIGURE 9

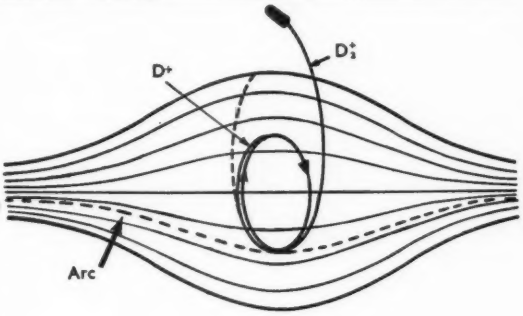


FIGURE 10

Un autre mode d'injection fait intervenir des ions moléculaires énergétiques (D_2^+) au lieu des ions atomiques (D^+). Lorsque ces ions moléculaires entrent en collision, ils peuvent se séparer en deux D^+ et fournir un électron, ou en un ion D^+ et un atome neutre. La quantité de mouvement de l'ion D^+ représente la moitié environ de celle de l'ion de départ D_2^+. Les dimensions de son orbite sont donc de l'ordre de la moitié de celles de l'orbite de D_2^+, ce qui évite l'injecteur. L'étude effectuée à *Oak Ridge National Laboratory* sous la direction de P. R. Bell et E. D. Shipley, est basée sur l'observation de J. S. Luce: l'arc au carbone est efficace en ce qu'il produit la séparation des ions moléculaires. Les ions moléculaires énergétiques sont injectés de telle façon qu'ils traversent un arc au carbone réalisé entre deux électrodes et suivant le champ magnétique. Les orbites résultantes sont celles représentées figure 10.

On peut s'attendre à ce que le principal processus de fuite des ions emprisonnés soit celui des collisions du type charge-échange entre les ions et les atomes ou molécules neutres. L'atome neutre rapide n'est pas confiné par le champ magnétique et se perd dans les parois. Il s'agit donc avant tout de faire en sorte que l'injection des ions dans le système soit trop rapide pour qu'ils puissent tous entrer dans une réaction d'échange. Ce seuil de «*burnout*» étant atteint, on devrait être en mesure de réaliser rapidement la densité [11].

Le groupe d'Oak Ridge a réussi à démontrer la présence d'un courant important d'ions emprisonnés dans le dispositif DCX et a montré qu'il y a confinement de ces ions pendant des périodes de l'ordre de 10 millisecondes.

LE STELLARATOR

A l'Université de Princeton, le projet du stellarator—ainsi appelé parce que l'on espère réaliser avec cet appareil les réactions de fusion qui se déroulent dans les étoiles — est dirigé par Lyman Spitzer Jr. qui en a réalisé l'étude fondamentale.

Si l'on considère le problème des pertes par les extrémités d'un long cylindre dans lequel règne un champ magnétique longitudinal, une solution qui apparaît évidente est celle qui consiste à incurver le cylindre pour former un tore. Malheureusement cette solution simple n'est pas valable. Le champ magnétique varie nécessairement comme $1/R$, R étant la distance à l'axe de symétrie du tore (figure 11). Par suite de cette variation, les ions positifs sont déviés vers le haut et les électrons vers le bas, ce qui donne naissance à un champ électrique comme l'indique la figure 12. Le champ magnétique empêche les électrons de neutraliser cette accumulation de charge; le plasma subit un déplacement d'ensemble perpendiculairement au plan constitué par le champ magnétique et le champ électrique, c'est-à-dire vers les parois. On surmonte cette difficulté en donnant au tore la forme de 8 que montre la figure 13. Considérons (figure 14) une section B—B du tube représenté figure 13 et suivons une ligne de force du champ magnétique à partir de P_1. Après un tour complet autour du 8, l'intersection de cette ligne de force avec le plan de section sera P_2. Les rotations successives autour du 8 définiront les points P_3, P_4 . . . Après chaque parcours tout se passe comme si la ligne s'était déplacée d'un angle i par rapport à l'axe magnétique, qui est la seule ligne de force se refermant sur elle-même. Toute ligne magnétique autre que l'axe (sauf dans le cas exceptionnel où i est un sous-multiple entier de 360°) engendre une surface et l'on peut dire que l'ensemble du champ se compose d'une succession de ces surfaces imbriquées les unes dans les autres. Dans une telle géométrie magnétique, l'équilibre du confinement est maintenant possible car les électrons neutralisent les accumulations de charge simplement en suivant les lignes de force. On pourrait obtenir un résultat semblable, quoique non identique, en réalisant un courant de plasma à l'intérieur du tore, comme dans Zeta [3], le courant

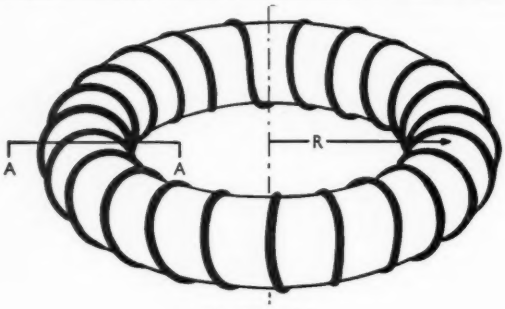


FIGURE 11

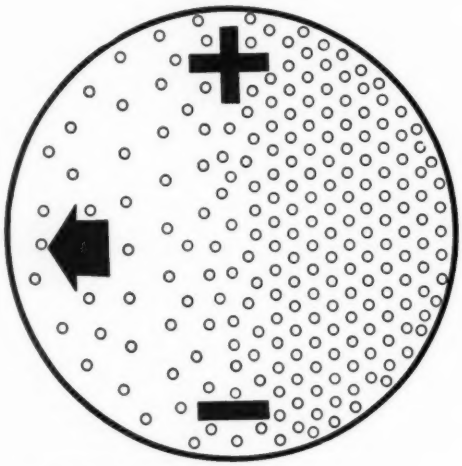
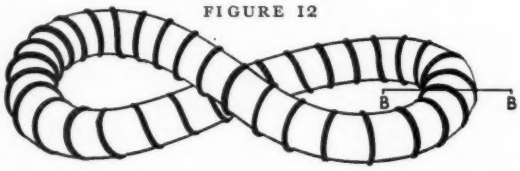


FIGURE 12



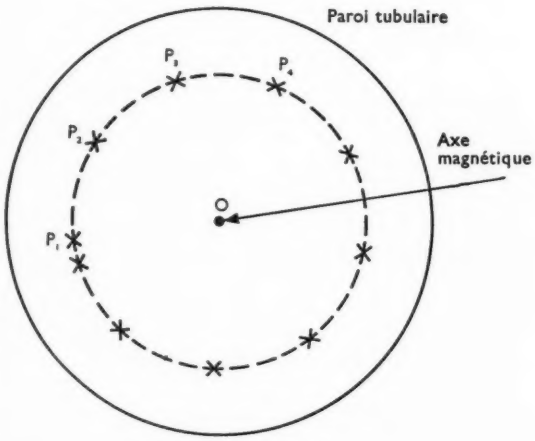


FIGURE 14

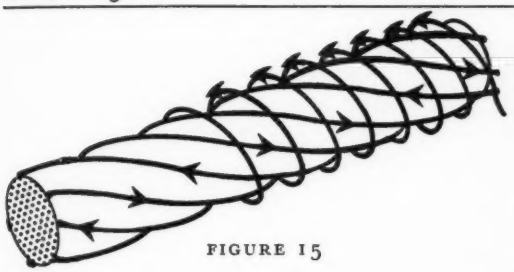


FIGURE 15

donnant naissance à une composante rotationnelle du champ. Cependant, le système est plutôt limité dans ce cas à une opération en régime pulsé qu'au régime permanent prévu pour le stellarator. L'équilibre du 8 est pourtant sujet, théoriquement, au même type d'instabilité hydromagnétique que la configuration à miroir. Une autre version du stellarator possède théoriquement la stabilité hydromagnétique. Dans ce système, au lieu de faire subir une torsion au tore, ce sont les lignes de champ qui sont tordues à l'intérieur du tore. On réalise cette opération en ajoutant aux enroulements uniformes qui créent le champ suivant le cylindre, un ensemble d'enroulements hélicoïdaux parcourus par des courants dont le sens est inversé d'un enroulement au suivant (figure 15). Ceci produit un angle rotationnel i proportionnel à r^2 où r est le rayon du cylindre. Ainsi les couches successives de lignes de force magnétiques subissent une torsion l'une par rapport à l'autre. Ces couches successives tendent à empêcher le déplacement de leurs voisines, de la même manière que les différentes couches d'une pelote de fil.

Ce procédé envisagé initialement pour le chauffage du gaz nécessitait un courant autour du tore permettant l'ionisation du gaz et le chauffage du plasma. Le courant utilisé dans ce mode de chauffage est beaucoup plus faible que le courant nécessaire au confinement de la colonne conductrice. Ce courant doit être maintenu en dessous du niveau (limite de Kruskal) qui produit théoriquement et expérimentalement une instabilité en coque semblable à celle observée dans la striction. L'énergie due à l'effet Joule est absorbée par les électrons. Elle doit être transférée des électrons aux ions lors des collisions. Lorsque le plasma s'échauffe, la résistivité diminue (comme $1/T^{3/2}$) et l'effet Joule est beaucoup plus faible. Ainsi l'effet Joule n'est utilisable que jusque vers un million de degrés.

On a l'intention d'utiliser une autre méthode, le pompage magnétique, qui fournit directement de l'énergie aux ions après le chauffage par effet

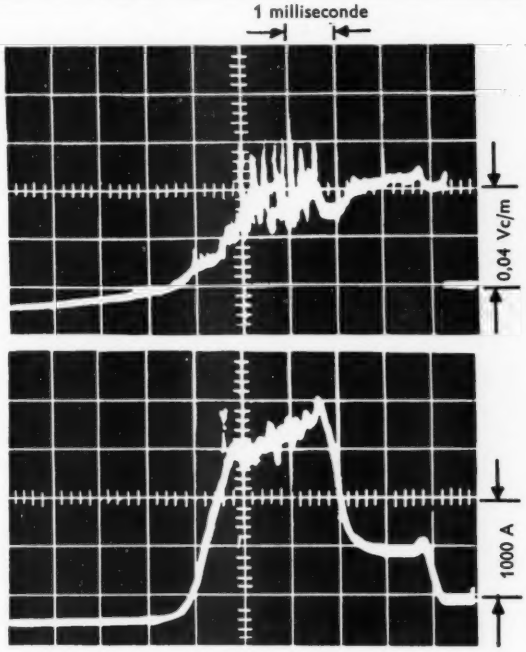


FIGURE 16

Joule. Dans une région donnée du système, le champ axial de confinement est oscillant, il comprime et dilate alternativement le plasma et par conséquent l'échauffe et le refroidit. A première vue il semblerait qu'aucun résultat valable concernant le chauffage ne subsiste. Cependant si la vitesse du processus est accordée sur l'une des fréquences propres du système, le chauffage est possible. Si, par exemple, l'intervalle de temps qui sépare la compression de la dilatation du champ dans l'une des sections du système, est réglé de telle façon qu'il soit égal au temps de transit moyen d'un ion à travers cette section, les ions qui s'échauffent lors de la compression seront, en moyenne, remplacés par des ions plus froids pendant l'intervalle de temps de dilatation du plasma. L'effet de chauffage sera supérieur à celui de refroidissement. En principe, le pompage magnétique est susceptible de porter le plasma à une température de 1 à 100 millions de degrés en quelques millisecondes. On a peu travaillé sur ce type de pompage magnétique parce que la puissance communiquée au plasma dans ce système est faible comparée aux pertes de puissance inattendues lors du chauffage par effet Joule.

Une autre fréquence propre intéressante dans le pompage magnétique est celle des ions tournant autour du champ magnétique, la fréquence

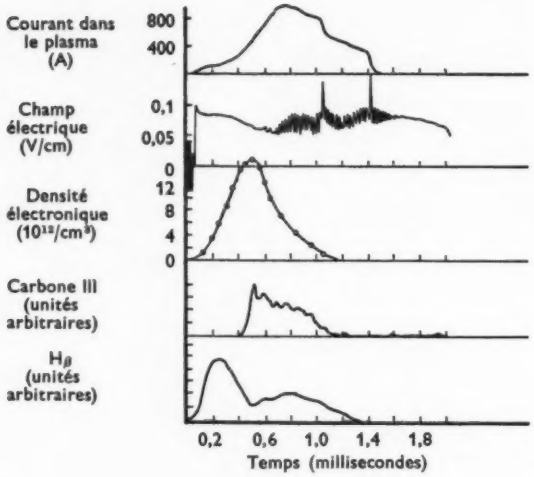


FIGURE 17

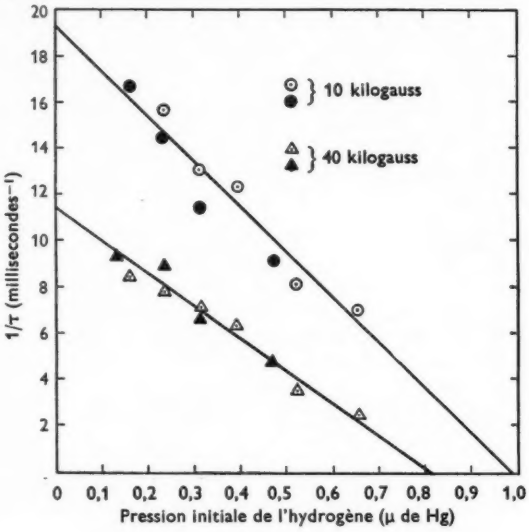


FIGURE 18

cyclotronique. T. Stix a démontré qu'il était possible de transférer de l'énergie au plasma avec une grande efficacité en utilisant cette méthode.

EXPÉRIENCES RÉALISÉES SUR LE STELLARATOR

La chambre à vide du stellarator B-3 a la forme d'un 8 de 5 cm de diamètre et de 680 cm de longueur suivant son axe. Le champ magnétique maximum, 50 000 gauss, est fourni par des bobines blindées. Ce dispositif fonctionne en régime pulsé une fois par minute environ pour des champs magnétiques importants et une fois par seconde pour des champs faibles. Le champ magnétique croît sinusoïdalement jusqu'à sa valeur maximum en 1/100 de seconde environ et décroît exponentiellement pendant un temps constant de l'ordre de 1/100 de seconde. Le champ magnétique conserve la valeur 90% de la valeur maximum pendant 1/100 de seconde, temps pendant lequel les opérations de chauffage, lorsqu'on utilise l'hélium ou l'hydrogène, sont réalisées.

Pour des champs susceptibles de produire ou de réaliser un chauffage par effet Joule suffisant, l'instabilité en coque est un caractère évident comme le montre la figure 16. L'oscillogramme du haut montre le champ électrique appliqué (champ de chauffage ohmique) en fonction du temps, l'oscillogramme du bas le courant de plasma (courant de chauffage ohmique). Pour cette décharge dans l'hélium le courant augmente relativement lentement puis reste stationnaire pendant un intervalle assez court suivi d'une montée vers la valeur maximum, la limite de Kruskal (instabilité en coque), après laquelle se produisent des fluctuations importantes que l'on retrouve dans la mesure du champ électrique.

Ainsi il y a accord entre la théorie et l'expérience sur le fait que le courant de chauffage doit être maintenu en dessous de la limite de Kruskal. Dans de telles conditions la température du plasma atteint comme prévu le voisinage d'un million de degrés, mais en présence du courant les pertes dans le plasma sont importantes. La figure 17 montre les caractéristiques de quelques quantités physiques au cours d'une décharge dans l'hydrogène. Après avoir appliqué une tension d'excitation faible à une fréquence radioélectrique, le champ électrique de chauffage de 0,1 volt/cm est appliqué. Le courant de plasma atteint un maximum bien en dessous de la limite de Kruskal en 0,6 millisecondes environ et diminue ensuite irrégulièrement pendant l'intervalle de temps nécessaire pour que les variations du champ électrique se confondent avec le bruit. Négligeant les effets de variation de température, la raie Hβ de l'hydrogène neutre dont l'intensité devrait être proportionnelle aux concentrations d'hydrogène neutre et d'électrons, atteint son maximum avant la densité électronique. Ceci montre que la majeure partie de l'hydrogène a été ionisée. Lorsque la densité électronique atteint un maximum, la lumière émise par l'hydrogène neutre et par les impuretés (carbone III) augmente, ce qui indique un flux à

la fois d'impuretés et d'hydrogène neutre dans le système. Après le maximum, la densité électronique décroît à peu près exponentiellement pendant un intervalle de temps constant, τ, de l'ordre de 100 microsecondes.

Ce phénomène de décroissance rapide de la densité électronique indiquant une perte de plasma vers les parois est appelé «*pumpout*». La vitesse de pumpout dépend nettement de la pression initiale de l'hydrogène comme le montre la figure 18. Il semble qu'une instabilité se produit au moment du maximum de densité électronique, projetant le plasma hydrogène vers les parois. Le résultat de ce bombardement des parois est une libération d'atomes d'hydrogène neutre et d'atomes d'impuretés dans la décharge. Ainsi ces atomes contribuent à augmenter l'intensité de l'émission lumineuse et tendent à maintenir la densité électronique lorsqu'ils s'ionisent. On peut expliquer les vitesses de pumpout plus faibles dans des conditions de pression initiale plus élevée du gaz, en supposant que la quantité de gaz neutre faiblement lié aux parois est proportionnelle à la pression initiale. Cette théorie semble pouvoir s'appuyer sur l'observation que le pumpout est plus lent dans l'hélium qui, étant plus inerte chimiquement, aurait moins tendance à s'accrocher aux parois. Les ions hélium sont vraisemblablement neutralisés sur les parois et sont diffusés à nouveau dans la décharge. En fait, le pumpout n'avait pas été observé expérimentalement jusqu'au moment où, afin d'essayer de réduire les rayonnements dus aux impuretés, les systèmes à vide furent remplacés par des systèmes à ultra-vide permettant des pressions de l'ordre de 10^{-10} mm de mercure.

Si ce schéma physique est correct, le temps de pumpout extrapolé jusqu'à la pression zéro représenterait la vitesse de fuite du plasma indépendamment de l'introduction de substances étrangères. Il est approximativement 1 000 fois plus rapide que ce à quoi on pouvait s'attendre d'après les effets de collision. Ce temps de pumpout extrapolé indique une variation en fonction du champ de confinement en $1/B^{\frac{1}{2}}$ tandis que, d'après les effets de collision seuls, la variation aurait été en $1/B^2$.

Le processus précédent a lieu dans le système de géométrie en 8 et dans le système à enroulements stabilisateurs hélicoïdaux [12] ce qui indique que le pumpout n'est pas dû aux instabilités hydromagnétiques. Un mécanisme qui expliquerait de telles pertes, associerait des champs électriques locaux à des ondes ou des oscillations dans le plasma. Des mesures précises indiquent que des champs électriques existent et que leur intensité est suffisante pour rendre compte de ces pertes. Dans quelles conditions de tels champs électriques prennent-ils naissance dans un plasma? En présence d'un champ électrique appliqué, une petite fraction des électrons parcourt plusieurs fois le libre parcours moyen sans être ralentie par une collision. Ces électrons continuant à être accélérés par le champ ont de moins en moins de chance d'entrer en collision. Ils constituent bientôt un faisceau électronique à haute énergie circulant dans le tore.

La fraction des électrons devenus électrons «fugitifs» augmente avec le champ électrique et lorsque la densité électronique décroît. Il est bien connu qu'un faisceau énergétique peut créer des oscillations du plasma. En fait, c'est à ce mécanisme qu'on attribue le bruit important observé lors de la mesure du champ électrique (figure 16). Remarquons que le début des oscillations a lieu au moment où la densité de plasma décroît, ce qui rend plus vraisemblable l'existence des électrons fugitifs. On a montré récemment [13] que même des vitesses de dérive faibles des électrons sont susceptibles, théoriquement, de donner naissance à des oscillations du plasma.

RÉFÉRENCES

[1] BISHOP, A. S. «Project Sherwood—The U.S. Program in Controlled Fusion». Addison-Wesley Publishing Co. Inc., Reading, Mass. 1958.

[2] «Proceedings of the Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy», Vols. XXXI et XXXII. Nations Unies, Genève. 1958.

[3] ALLEN, J. E. *Endeavour*, **17**, 117, 1958.

[4] SPITZER, L. «Physics of Fully Ionized Gases». Interscience Publishers Inc., New-York. 1956.

[5] GIBSON, G. et LAUER, E. *Bull. Amer. phys. Soc.*, **3**, 412, 1958.

[6] POST, R. F., ELLIS, R. E. et FORD, R. *Phys. Rev. Letters*. (A paraître.)

[7] COENSGEN, F. H., CUMMINS, W. F. et SHERMAN, A. E. *Phys. Fluids*, **2**, 350, 1959.

[8] BOYER, K., LITTLE, E. M., GWINN, W. E., SAWYER, G. A., et STRATTON, T. F. *Phys. Rev. Letters*, **2**, 279, 1959.

[9] GRIEM, H. R., KOLB, A. C. et FAUST, W. R. *Ibid.*, **2**, 281, 1959.

[10] KOLB, A. C. et DOBBIE, C. B. *Ibid.*, **3**, 5, 1959.

[11] SIMON, A. *Phys. Fluids*, **1**, 495, 1958.

[12] ELLIS, R. A., GOLDBERG, L. P. et GORMAN, J. G. *Ibid.* (A paraître.)

[13] BERNSTEIN, I. B., FRIEMAN, E. A., KULSRUD, R. M. et ROSENBLUTH, M. N. *Ibid.* (A paraître.)

Les relations étrangères de la *Royal Society*

par E. N. DA C. ANDRADE et D. C. MARTIN

Au mois de juillet 1960 la *Royal Society* de Londres fêtera le tricentenaire de sa fondation. A cette occasion se réuniront à Londres de nombreux représentants des principaux centres de recherche scientifique du monde entier. Vu l'importance internationale de cet événement il est opportun de rappeler que dès ses débuts la *Royal Society* s'est attachée à entretenir des relations suivies avec les savants de tous les pays du monde.

On lit dans *Defence of the Royal Society* (1678) — ouvrage du mathématicien éminent John Wallis, un des principaux fondateurs de la Société — que vers 1645 quelques savants, adeptes fervents de la nouvelle science expérimentale, se réunissaient chaque semaine à Londres pour s'entretenir de questions telles que la circulation sanguine (signalée par Harvey en 1628); la nature des comètes et autres questions astronomiques, le perfectionnement du télescope notamment; les expériences de physique, le vide de Torricelli, par exemple, et beaucoup d'autres aspects de ce qu'on pourrait appeler la science nouvelle. A quelques années de là certains de ces savants allèrent à Oxford poursuivre ensemble leurs études favorites. Celles-ci n'entraient pas alors dans le cadre des cours universitaires officiels que dominait la philosophie d'Aristote. Un des dirigeants de ce groupe d'Oxford, John Wilkins, était l'auteur d'un bon ouvrage de vulgarisation sur le Système de Copernic; il était aussi recteur de *Wadham College* où ses appartements devinrent le lieu de réunion des fervents de la nouvelle science: c'étaient notamment John Wallis, Robert Boyle, l'ecclésiastique éminent Matthew Wren et son neveu Christopher Wren qui dans sa jeunesse s'intéressait aux sciences et devint à vingt-quatre ans Professeur d'Astronomie à *Gresham College*. Il y avait encore William Petty, économiste, administrateur et inventeur; les médecins Jonathan Goddard, Thomas Willis et John Bathurst; le mathématicien et astronome Seth Ward, futur évêque d'Exeter, et l'astronome Lawrence Rooke. Wilkins lui-même devint par la suite évêque de Chester, de sorte que l'élément ecclésiastique dominait dans ce groupe destiné à donner naissance à la *Royal Society*. Il est certain que la carrière ecclésiastique à cette époque, mieux considérée et rétribuée, attirait une forte proportion des diplômés des deux universités, mais on peut néanmoins s'étonner de la prépondérance de cet élément parmi les néo-scientifiques. Il est aussi à remarquer que ce sont surtout des ecclésiastiques qui défendirent la jeune *Royal Society* lorsqu'elle fut farouchement attaquée par certains tenants des vielles traditions. Parmi ses défenseurs on compte Joseph Glanvill, Administrateur du diocèse de Bath, et Thomas Sprat, évêque de Rochester, auteur d'une histoire de la *Royal Society*, parue en 1667, où figure, outre l'apologie de la Société, un historique de sa fondation, de ses buts et de ses premières réalisations.

Vers 1658, les principaux membres de la Société Philosophique d'Oxford, ou «Collège invisible» comme on l'appelait souvent, se rendent à Londres où d'autres qui partagent leurs idées se joignent à eux, notamment Lord Brouncker, mathématicien renommé. Pendant la période de confusion qui suit la mort de Cromwell, les projets de fondation d'un collège scientifique préoccupent les esprits, non seulement parmi les savants, mais parmi les lettrés en général. Le poète Abraham Cowley, par exemple, publie en 1661 *A Proposition for the Advancement of Experimental Philosophy*, ouvrage bien documenté dont la conception remonte clairement à une époque antérieure. La Restauration ramène l'apaisement et favorise les réalisations: c'est ainsi que les «philosophes» réunis à *Gresham College* le 28 novembre 1660 pour assister à une conférence de Christopher Wren décident de constituer une société. On s'entend sur les dates et le lieu des réunions et le montant de la cotisation; on nomme un trésorier et un secrétaire; Wilkins est élu président et on dresse une liste de quarante membres. On peut dire que d'ores et déjà la *Royal Society* est fondée, bien que ce titre ne soit pas encore en usage, et c'est le tricentenaire de cette date qui sera commémoré cette année par la Société. La semaine suivante Sir Robert Moray, familier du roi Charles II et de la nouvelle société, annonce à celle-ci que la faveur royale lui est acquise, et lors d'une réunion tenue le 12 décembre on adopte une procédure pour l'élection des membres et du bureau de la Société. Grâce aux bons offices de Sir Robert Moray le roi accorde à la Société en

FIGURE 1 – *La masse de la* Royal Society, *offerte par Charles II.* (*Les figures 1–6 sont reproduites par l'autorisation de la* Royal Society.)

1662 une charte constitutionnelle, rédigée en latin, où celle-ci est appelée *Regalis Societas*. C'est cette dernière date qui est parfois adoptée comme étant celle de la fondation: c'est par exemple, en 1912 que la Société célébra son 250e anniversaire.

Une activité de la *Royal Society*, ses relations avec les pays étrangers, mérite d'être évoquée tout spécialement au moment où elle accueillera tant de représentants éminents des académies, universités et autres institutions étrangères. Dans son Histoire déjà mentionnée, Sprat, en faisant une estimation des encouragements reçus par la Société, parle de l'étroitesse de ces relations; il constate que la Société entretient un commerce constant avec les médecins, les voyageurs, les mathématiciens et les chimistes français les plus en vue, et a été invitée en termes affectueux à correspondre avec l'Académie des Sciences. Il dit à propos de l'Italie que la Société a été invitée à des échanges scientifiques avec les savants italiens, tout particulièrement avec le prince Léopold de Toscane, protecteur de la célèbre *Accademia del Cimento*. Sprat trouve cette invitation remarquable, venant d'un pays qui d'ordinaire ne se soucie pas beaucoup de la vie intellectuelle des nations transalpines. Il note que l'Allemagne et les pays avoisinants ont exprimé à la Société leur haute estime et lui ont fait don de certains instruments, ajoutant que les nations germaniques sont remarquablement douées pour les entreprises et les recherches scientifiques, tant en raison de leur habileté aux travaux manuels de tous genres que par la simplicité et la franche sincérité de leur caractère. A propos des Pays-Bas, il fait l'éloge de Huygens, rappelant que la Société reste en rapport avec celui-ci et bon nombre d'autres malgré l'état de guerre qui existe entre l'Angleterre et la Hollande. Ceci, comme nous le verrons, est caractéristique des relations étrangères de la Société. Christiaan Huygens, en visite à Londres en 1661, fut chaudement accueilli par la naissante Société, et quand il y revint en 1663, lors de l'établissement du rôle des membres de la Société, sous la présidence de Lord Brouncker, il fut élu membre ainsi que le Français Sorbière.

Parmi les premiers membres de la *Royal Society* dont les noms évoquent ses relations avec les pays d'outre-mer figure John Winthrop, gouverneur du Connecticut. Né en Angleterre et établi en Amérique, il séjourna de 1661 à 1663 dans son pays natal. Sa mission, qu'il mena d'ailleurs à bonne fin, était d'obtenir une charte. Il avait l'esprit scientifique, contribua aux *Philosophical Transactions* (Comptes rendus de la *Royal Society*) et enrichit le Musée de la Société de plusieurs objets. Un de ses arrière-petits-neveux, du même nom, également membre de la Société, envoya aux *Transactions* plusieurs communications, surtout sur des sujets astronomiques. Il fut le premier astronome américain de marque.

Parmi les membres élus au cours des vingt premières années se trouvent l'astronome Hévélius de Danzig, le mathématicien et astronome français Adrien Auzout; Nicolas Mercator (traduction latine de Kaufmann) le célèbre mathématicien allemand, qui passa quelque temps en Angleterre; l'Italien Marcello Malpighi, qu'on peut appeler le fondateur de l'anatomie microscopique; le célèbre astronome Jean Dominique Cassini, directeur de l'Observatoire de Paris, et le grand microscopiste hollandais Leeuwenhoek. Malpighi envoya à la Société son fameux ouvrage sur le ver à soie, *Dissertatio Epistolica de Bombyce*, demandant qu'il soit publié sous le patronage de celle-ci. La Société accepta et le livre parut à Londres en 1669. Deux autres œuvres de Malpighi furent publiées à Londres dans les mêmes circonstances. On voit encore au siège de la Société le portrait (figure 3) qu'il offrit à celle-ci en 1680. C'est également sous l'égide de la Société que Denis Papin publia deux de ses ouvrages les mieux connus. Leibniz dédia à la Société en 1671 son *Hypothesis Physica Nova* et beaucoup d'autres savants étrangers lui firent semblable hommage.

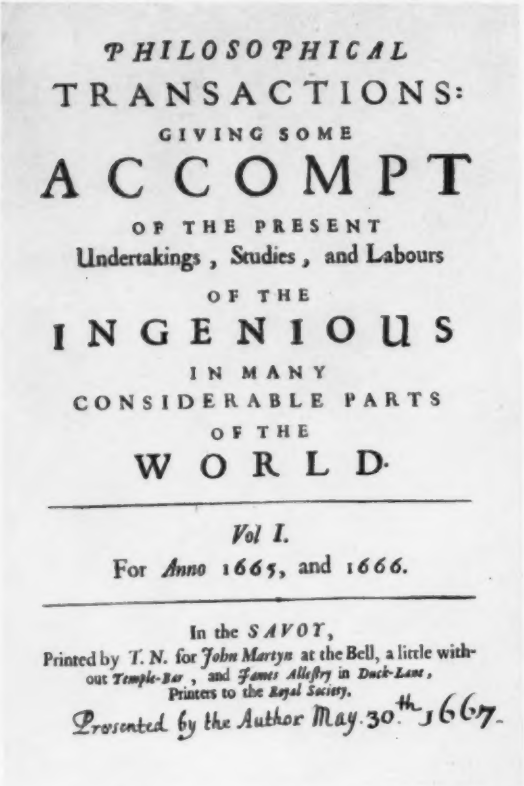
De 1673 à sa mort en 1723 Leeuwenhoek communique à la Société toutes ses découvertes microscopiques sous forme de lettres qui paraissent régulièrement dans les *Philosophical Transactions*. Elu membre en 1679, il écrit à un ami qu'il s'efforcera de se rendre digne de cet insigne honneur.

FIGURE 3 – *Marcello Malpighi*, 1628–94. *Par A. M. de Tobar.*

FIGURE 2 – *Henry Oldenburg*, 1626–77; *Secrétaire* 1663–77. *Par John van Cleef.*

FIGURE 5 – *Benjamin Franklin*, 1706–90. *Par Joseph Wright.*

FIGURE 4 – *Bernard de Fontenelle*, 1657–1757. *Par H. Rigaud.*



PHILOSOPHICAL
TRANSACTIONS:
GIVING SOME
ACCOMPT
OF THE PRESENT
Undertakings, Studies, and Labours
OF THE
INGENIOUS
IN MANY
CONSIDERABLE PARTS
OF THE
WORLD.

Vol I.
For Anno 1665, and 1666.

In the SAVOY,
Printed by T. N. for John Martyn at the Bell, a little without Temple-Bar, and James Allestry in Duck-Lane, Printers to the Royal Society.
Presented by the Author May. 30th 1667.

FIGURE 6 – *Page de titre du premier volume des* Philosophical Transactions.

Il légua à la Société une armoire contenant vingt-six de ses célèbres microscopes simples.

A Henry Oldenburg, son premier Secrétaire (figure 2), né à Brême et possédant à fond plusieurs langues, la Société est redevable d'avoir dès le début entretenu une correspondance active avec les savants étrangers. Le personnage n'est pas très sympathique, car il envenima de propos délibéré le désaccord entre Newton et Hooke; mais il rendit de grands services à la Société. C'est lui qui édita le premier numéro des *Philosophical Transactions*, paru en 1665 (figure 6), et plusieurs des suivants. A cette époque les *Transactions* comprenaient, — outre les communications originales, certaines d'importance capitale, de savants britanniques et étrangers, — des exposés, souvent empruntés du «Journal des Sçavans», de travaux en cours dans d'autres pays, ainsi que des comptes rendus de ce qui se faisait outre-Manche dans de nombreux domaines.

La *Micrographia* de Robert Hooke, paru en 1665, eut un grand retentissement à l'étranger, ajoutant à la renommée de la Société. Il en parut un compte rendu ample et élogieux dans le «Journal des Sçavans» et les hommes de science européens, J. C. Sturm notamment, portèrent l'ouvrage aux nues. En 1679 la publication des *Philosophical Transactions* fut interrompue et Hooke fit paraître une revue intitulée *Philosophical Collections* et consacrée principalement aux travaux étrangers. Cette revue dura jusqu'en 1683, année de la reprise définitive de la publication régulière des *Phil. Trans.*

Les réalisations d'Isaac Newton rehaussèrent davantage le prestige de la Société tant à l'étranger qu'en Grande-Bretagne. Ses travaux fondamentaux sur le prisme, parus dans les *Transactions* de 1672, et un mémoire tout aussi important sur la lumière, publié en 1675, suscitèrent un intérêt considérable et... beaucoup de malentendus. C'est surtout la publication des *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, ou *Principia* tout court, en 1687, qui consacra la transcendance de son génie. On ne comprit pas tout de suite la portée du livre, mais on sentit, surtout en France, qu'il émanait d'un esprit supérieur. Fontenelle (figure 4), remerciant Newton en 1714 de l'envoi d'un exemplaire de la deuxième édition des *Principia*, ajoute: «Il y a déjà plusieurs années que cet excellent ouvrage est admiré dans toute l'Europe, et principalement en France, où l'on sait bien connaître le mérite étranger». Le marquis de l'Hôpital, mathématicien de renom, appelle Newton un «génie céleste». Leibniz le considère comme «le mathématicien suprême». Voltaire fit connaître le nom et l'œuvre de Newton aux Français qui n'appartenaient pas à l'aristocratie scientifique en publiant en 1738 ses «Elémens de la Philosophie de Neuton». Algarotti en fit de même en Italie par la publication de son *Il Newtonianismo per le Dame ovvero Dialoghi sopra la Luce e i Colori* (1737). Il y eut de nombreuses traductions des deux ouvrages. La gloire de Newton rejaillit sur la *Royal Society* dont il fut le Président de 1703 jusqu'à sa mort en 1727, car son nom et d'ailleurs toutes les réalisations scientifiques britanniques étaient, dans l'esprit du public, intimement liés à la Société. Au nombre des *Fellows* étrangers élus au cours de la présidence de Newton on compte Magalotti, Jean et Nicolas Bernouilli, Pierre Varignon, 's Gravesande et J. B. Morgagni. Voltaire fut élu en 1743.

Après la mort de Newton la Société perdit naturellement quelque peu de son prestige. Son successeur au fauteuil présidentiel fut le médecin Hans Sloane, grand collectionneur, dont les trésors constituèrent le noyau du British Museum. On raconte que Sloane, en 1725, apprenant qu'un

jeune voyageur américain avait une bourse en amiante — matière très rare à l'époque — la lui acheta et incidemment lui fit visiter sa collection. Le jeune homme s'appelait Benjamin Franklin (figure 5) et devait par la suite resserrer les liens entre les colonies d'Amérique et la *Royal Society*. De retour en Amérique il effectua ses expériences classiques sur l'électricité de frottement, qui aboutirent à la conclusion que la foudre et l'étincelle électrique sont de même nature. William Watson donna lecture à la Royal Society d'un compte rendu des expériences de Franklin; puis celui-ci publia à Londres un recueil de lettres adressées à Peter Collinson, F.R.S., où il décrit ses expériences et qui eut beaucoup de succès. En 1753 la *Royal Society* décerne à Franklin sa plus haute récompense, la médaille Copley. Notons en passant que depuis un siècle plus d'un Américain a été l'objet de cette distinction.

En 1757, Franklin, devenu une célébrité, se rend de nouveau en Angleterre. Déjà membre de la *Royal Society*, il en devient alors un ami intime: membre du Conseil, membre en vue de plusieurs comités importants et convive assidu du *Dining Club*. Celui-ci existe encore au sein de la Société. Il rentre en Amérique en 1762, mais en 1764 revient en Angleterre et reprend ses rapports intimes avec la Société. Il repart définitivement en 1775 au moment où la guerre éclate entre l'Angleterre et les colonies d'Amérique. C'est cependant bien conforme à l'esprit de la Societé que ses membres aient appuyé les théories de Franklin sur la foudre au cours des polémiques qui s'engagèrent pendant la guerre, et que Joseph Banks, alors Président de la *Royal Society*, fit parvenir à Franklin une des médailles d'or frappées en honneur de James Cook, accompagnée d'une lettre très courtoise. La guerre n'affecta en rien les relations de la Société avec les savants américains; elles n'ont jamais cessé d'être très cordiales.

Martin Folkes qui succéda à Hans Sloane comme Président était un antiquaire d'aucun mérite particulier qui ne fit rien pour rehausser le prestige de la Société. Aucun Anglais de marque n'est admis à en faire partie au cours des années 1727 à 1766; mais dans la liste des nouveaux membres étrangers on relève les noms de Buffon, Linné, d'Alembert, Pieter van Musschenbroek et Réaumur. En 1778 Joseph Banks devient Président et le hasard veut qu'en même temps la science britannique s'enrichissent des travaux de Joseph Priestley, John Hunter, William Herschel (allemand de naissance), Smithson Tennant, W. H. Wollaston et Thomas Young.

Pendant 41 ans, c'est-à-dire plus longtemps que n'importe quel autre Président — Newton, ayant régné 23 ans, vient en second lieu — Banks présida aux destinées de la *Royal Society*. Il était riche, aimait passionnément la botanique et constitua une remarquable collection de spécimens de plantes. On ne lui doit toutefois aucune œuvre scientifique originale: sa personnalité et son influence l'ont préservé de l'oubli. Dans sa jeunesse il avait participé au célèbre voyage du Capitaine Cook dans l'*Endeavour*, ayant réuni et équipé à ses frais le personnel chargé de recueillir et classer les spécimens botaniques et autres. Etant un ami personnel du roi George III, il fut à même de travailler pour le plus grand bien de la Société et d'intéresser le public aux sciences. Sous sa direction ferme la Société retrouva son prestige européen. Banks, qui avait beaucoup voyagé, tenait à créer des liens de camaraderie entre savants étrangers et britanniques. Lors des guerres de la Révolution et de l'Empire, il s'efforça de conserver les relations pacifiques entre savants anglais et français. Cuvier et Lacépède furent élus membres en 1806, Biot et Gay-Lussac en 1815, deux mois avant Waterloo.

Il faut rappeler également qu'en 1813 Humphry Davy, le futur successeur de Banks à la présidence, voyagea en France avec une permission spéciale de Napoléon et fut reçu chez les savants français éminents de l'époque: Ampère, Gay-Lussac et Cuvier, notamment.

Cuvier, dans un éloge posthume de Banks prononcé en 1821, rend hommage à celui-ci pour la protection accordée aux savants français pendant la guerre: «Pendant cette guerre de vingt-deux ans qui a porté ses ravages sur presque tous les points des deux mondes, partout le nom de M. Banks a été un palladium pour ceux de nos compatriotes qui se livrent à des recherches utiles: si leurs collections étaient enlevées, il suffisait qu'ils s'adressassent à lui pour qu'elles leur fussent rendues; si leur personne était détenue, le temps de lui faire parvenir leur réclamation était le seul délai qu'éprouvât leur mise en liberté».

Le règne de Banks s'est signalé par un autre exemple de coopération scientifique internationale: en 1783 l'Académie Royale des Sciences sollicita la coopération de la *Royal Society* dans des travaux de triangulation destiner à préciser la position de l'observatoire de Greenwich par rapport à celui de Paris. Le roi George III accorda un subside pour défrayer ces travaux, qui furent exécutés conjointement par les deux pays en 1787.

Après la mort de Banks, les relations restèrent

cordiales entre les pays d'outre-mer et la Société, qui accueillait dans son sein les chercheurs étrangers éminents. Il arriva cependant qu'avec ces derniers on admit vers le milieu du XVIIIe siècle quelques personnalités de mérite moindre. On décida en conséquence de limiter le nombre des membres étrangers à cent et d'introduire la différence d'appellation qui existe encore: les membres étrangers étant désormais des *Members* et les Britanniques des *Fellows*. Le nombre de membres étrangers fut encore réduit en 1825, cette fois à cinquante. Il est à noter qu'en 1945 on leva toute restriction numérique, mais on limita à quatre le nombre des élections annuelles. Il y a actuellement 61 membres étrangers.

Bien que les circonstances de la guerre de 1914–18 missent obstacle aux relations entre savants allemands et britanniques, tous les membres allemands furent maintenus sur la liste de la Société. Il en fut de même au cours de la dernière guerre en dépit des opinions politiques outrancières de certains savants allemands. Quand Max Planck, un savant universellement respecté, assista, au lendemain de la guerre, en 1946, aux manifestations en honneur de Newton, il fut chaleureusement accueilli par la Société dont il avait reçu une invitation spéciale. Les élections de membres allemands recommencèrent en 1949 avec celle de Max von Laue.

Passons maintenant à la coopération scientifique internationale organisée, où la *Royal Society* a toujours joué un rôle prépondérant. L'année 1898 marque probablement le début de la coopération régulière entre académies des sciences; mais la coopération internationale entre savants avait déjà commencé; citons, par exemple, l'Association Internationale de Géodésie, issue de l'Association Internationale Centre-Européenne créée à Berlin en 1861; le Bureau International des Poids et Mesures créé à Paris en 1873, et la première Année Polaire de 1882–83. C'est toutefois en 1898 qu'un groupe d'académies allemandes invita la *Royal Society* à une conférence qui aboutit à une proposition, formulée par la Société, d'instituer une association internationale des académies. Dès le mois d'octobre de l'année suivante les Académies des Sciences française, russe et américaine, réunies à Wiesbaden, approuvèrent un projet d'Assemblée Générale des Académies: chacune enverrait des délégués au réunions trisannuelles de l'Assemblée, où il y aurait deux sections, l'une s'occupant de sciences naturelles et l'autre de linguistique, d'histoire, de philosophie, d'archéologie et d'autres disciplines dont l'étude se fonde sur des principes scientifiques, mais qui n'entrent pas dans le cadre des sciences naturelles. La réunion inaugurale de l'Association Internationale des Académies eut lieu à Paris en 1900.

L'Académie Britannique fut l'aboutissement direct de ce mouvement international. Comme de juste, la *Royal Society* avait été appelée à représenter la Grande-Bretagne dans la Section «Sciences Naturelles». Elle fut invitée à élargir le champ de ses activités pour qu'elle puisse figurer dans l'autre section également; mais les *Fellows*, lors d'une séance spéciale tenue en mai 1901, opinèrent contre le projet. Celui-ci fut donc rejeté par le Conseil. Des historiens, des philosophes et des philologues distingués, qui avaient pris part à ces débats, sollicitèrent du Roi la permission de fonder un nouvel organisme. C'est ainsi qu'en août 1902 fut créée la *British Academy for the Promotion of Historical, Philosophical and Philological Studies*, dotée d'une Charte royale. La *Royal Society* accorda un appui substantiel à la nouvelle société, et, jusqu'en 1928, les réunions de celle-ci eurent lieu dans les locaux de la Société.

La guerre de 1914–18 interrompit les réunions de l'Association Internationale; mais en 1918 la *Royal Society* s'appliqua à rétablir la coopération scientifique internationale. Une réunion eut lieu à Burlington House en octobre 1918, et, lors d'une deuxième, tenue à Paris un mois après, au lendemain de l'Armistice, un comité exécutif fut chargé des démarches nécessaires pour la création d'un nouveau Conseil International de Recherches. Celui-ci, avec l'aide de plusieurs unions internationales, devait aider au développement des relations scientifiques internationales. A sa première Assemblée Générale, tenue à Bruxelles en juillet 1919, Sir Arthur Schuster, Secrétaire aux relations étrangères de la *Royal Society*, fut élu Secrétaire Général. La *Royal Society* fut désignée comme organisme membre du Conseil International de Recherches et de ses Unions affiliées.

L'Assemblée Générale se tint cinq fois de suite à Bruxelles entre 1919 et 1931. En 1928, Sir Henry Lyons, partisan enthousiaste de la coopération scientifique internationale, devint Secrétaire aux Relations Etrangères de la *Royal Society* en même temps que Secrétaire Général du Conseil International de Recherches. Celui-ci avait pendant toute cette période trouvé un très ferme appui auprès de la Société.

Lors de la cinquième Assemblée Générale en 1931 on adopta des changements organiques proposés par la *Royal Society*: le Conseil s'appela

désormais Conseil International des Unions Scientifiques (ICSU). Sir Henry Lyons devint Sécrétaire Général de l'ICSU. En 1939 la guerre éclate, mettant fin aux activités de l'ICSU et des Unions membres; mais, dès 1943, la *Royal Society* prépare la reprise des relations scientifiques internationales et, à cette fin, se met en communication avec les académies des sciences soviétique et américaine. En 1946, la 4e Assemblée de l'ICSU a lieu dans les salles de la Société. Par la suite les Assemblées Générales se tinrent à Copenhague (1949), Amsterdam (1952), Oslo (1955) et Washington (1958). Après la réunion d'Amsterdam le Professeur A. V. Hill succéda au Professeur Stratton au poste de Secrétaire Général, occupé ensuite par Sir Harold Spencer Jones. Dès la création du Conseil International de Recherches en 1918, jusqu'en 1958, les Secrétaires Généraux du Conseil ont donc été des *Fellows* de la *Royal Society*.

Ici même (ENDEAVOUR, XVIII, 88, 1959), l'œuvre de l'ICSU, notamment l'organisation de l'AGI (Année Géophysique Internationale), a fait l'objet d'un article de Sir Harold Spencer Jones.

L'ICSU a créé depuis, sur le modèle de l'AGI, des Comités Internationaux pour l'Exploration de l'Espace, la Recherche océanique et la Recherche dans l'Antarctique. La prochaine Assemblée Générale doit avoir lieu en 1961 à Londres, où la *Royal Society* accueillera une fois de plus un organisme au progrès duquel elle a tant contribué depuis quarante ans.

A la fin de la deuxième guerre mondiale les ministres de l'Education Nationale des pays alliés se rencontrèrent à Londres: il s'agissait de la création d'un organisme international qui serait chargé de développer les activités éducatives et culturelles, conformément aux résolutions formulées dans la Charte des Nations Unies. L'aboutissement des discussions, où les représentants de la *Royal Society* jouèrent un rôle prépondérant, fut la création de l'Uneco, Organisation des Nations Unies pour l'Education et la Culture, devenu l'Unesco, quand son domaine s'étendit aux usages bienfaisants de la science. Sir Julian Huxley en fut le premier Directeur Général et Dr. J. Needham, un autre *Fellow* de la *Royal Society*, le premier Directeur du Département des Sciences Naturelles. La *Royal Society* s'est adjoint des équipes consultatives qui assurent aux projets de l'Unesco les conseils de l'élite des savants britanniques.

La Société a en outre donné l'essor à la publication du Catalogue International des Communications Scientifiques de 1900 à 1922, et a participé activement à la création et à l'entretien de stations de recherches internationales, notamment la Station de Recherche à haute altitude de la Jungfraujoch pour l'étude des rayons cosmiques, de la physiologie à haute altitude et sujets apparentés, et les Stations de Biologie Marine de Naples et des Bermudes. Lors des échanges de vues relatifs à la création du Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (CERN) la Société fut la première à proposer la participation britannique. En 1928 elle fut admise à faire partie de l'Association de la Science du Pacifique, elle y joue depuis un rôle très actif. Elle a participé également de manière prépondérante à plusieurs expéditions internationales, perpétuant ainsi la tradition inaugurée par Halley et Cook, notamment en ce qui concerne la Deuxième Année Polaire (1932–33) dans l'Arctique et l'AGI dans l'Antarctique.

Une grande cordialité existe, surtout depuis la deuxième guerre mondiale, entre la *Royal Society* et le Commonwealth dont tous les sujets peuvent aspirer à être élus *Fellows*. En juin 1946 des représentants venus de tous les pays du Commonwealth assistèrent à la Conférence Scientifique Impériale de la *Royal Society* et, la même année, côte à côte avec des délégués venus de tous les points du globe, aux manifestations commémoratives du tricentenaire de Newton. C'est ainsi que la Société put renouer ses relations internationales interrompues par la guerre. En 1948 la Société organisa une conférence d'information scientifique à l'intention du Commonwealth, au premier chef, mais à laquelle les Etats-Unis et l'Unesco se firent représenter.

La vie et l'œuvre de Lord Rutherford symbolisent remarquablement l'unité scientifique au sein du Commonwealth: né en Nouvelle-Zélande, il y fit ses premières recherches; après de brillantes études à Cambridge, il occupa sa première chaire au Canada où ses travaux lui valurent le prix Nobel. Il professait à Manchester au moment où pour la première fois il proposa la structure du noyau de l'atome, et il occupait, à la fin de sa carrière, la chaire Cavendish à Cambridge où, avec ses collaborateurs, il réalisa la désintégration de l'atome. En 1950–51 c'est sous les auspices de la *Royal Society* que se constitua la Fondation Rutherford, dont le revenu sert au développement de la coopération scientifique au sein du Commonwealth. Une partie de ce revenu est consacrée à l'octroi de bourses de recherche aux diplômés des universités du Commonwealth ou d'Irlande, à condition qu'ils poursuivent leurs travaux dans

une université autre que celle où ils ont pris leur diplôme; une autre partie sert à défrayer la Conférence Commémorative Rutherford qui doit obligatoirement se donner dans un des pays du Commonwealth outre-mer.

Les liens furent davantage resserrés avec le Commonwealth lorsque la Société créa, en 1953, les Bourses du Commonwealth avec la coopération et une aide financière substantielle de la Fondation Nuffield. Le mouvement a bénéficié également de l'appui moral et financier des diverses organisations scientifiques des pays du Commonwealth.

Plusieurs académies des sciences ont été fondées sur le modèle, et parfois sous les auspices, de la *Royal Society*. Franklin, par exemple, s'en inspira pour créer, en 1743, la Société Philosophique Américaine; les *Fellows* de la *Royal Society* résidant en Australie en firent de même quand il fondèrent, en 1951, l'Académie des Sciences australienne. Lorsque celle-ci reçut sa charte, à Canberra le 15 février 1954, des mains de S.M. la Reine Elisabeth II, son Président envoya au Président de la *Royal Society* le message suivant: «Nous sommes reconnaissant de l'aide et de l'encouragement accordés par la *Royal Society* à l'Académie Nationale créée par la Reine et s'inspirant étroitement de la vénérable institution à laquelle nous envoyons nos remercîments et nos meilleurs vœux».

L'Académie australienne et la Société Philosophique Américaine seront au nombre des académies, jeunes ou vieilles, qui en juillet 1960 se feront représenter à Londres aux fêtes du tricentenaire de la *Royal Society*. Celle-ci, les accueillant de nouveau, renforcera l'amité qui a marqué, au cours des trois siècles écoulés, ses relations étrangères.

Il est inévitable, et d'ailleurs conforme à l'esprit de l'époque, que la *Royal Society* s'associe, dans ses relations étrangères, à des organismes importants. Les relations individuelles entre les savants étrangers et les membres de la Société restent néanmoins aussi cordiales qu'autrefois, aux temps où le premier souci de tout savant étranger de passage à Londres était de faire visite à la *Royal Society*. Aux débats de la Société, les spécialistes étrangers des questions à l'étude trouvent toujours bon accueil; elle offre volontiers, par l'intermédiaire de ses membres, l'hospitalité privée et l'hommage public aux savants étrangers de marque. Tous les intéressés sont convaincus qu'elle continuera à représenter dignement la science britannique et qu'elle se fera toujours un agréable devoir d'entretenir des relations cordiales avec les savants du monde entier.

La nidation de l'œuf fécondé

par M. C. SHELESNYAK

Les premiers stades de la gestation—en particulier, ceux qui concernent l'implantation de l'œuf fécondé sous forme de blastocyste—restent mal définis. Cet article discute certains aspects spéciaux de ce problème général et ne prétend pas donner une revue complète des progrès réalisés par les chercheurs qui étudient la progestation. L'accent est mis sur l'exposition d'un schéma de mécanisme expliquant la nidation.

On a avancé récemment trois idées de base pour la nidation (implantation) de l'œuf [7]:

1. Dans l'état actuel de nos connaissances, il est impossible de donner des définitions précises de l'implantation au triple point de vue spatial, temporel et physiologique. Nous ne pouvons dire exactement quand, ni où, l'implantation se produit, ni quels sont les besoins exacts hormonaux, vasculaires, biochimiques et nutritiels pour sa réalisation.
2. Il existe une relation mutuelle entre l'œuf et l'endomètre qui n'est pas seule responsable, n'étant, ni entièrement active, ni passive.
3. Les réactions entre blastocyste et endomètre ne peuvent se réaliser que dans des conditions appropriées, résultant de l'interaction des hormones, de l'état vasculaire et des facteurs de nutrition, biochimiques et génétiques.

On peut attaquer le problème du mécanisme de la nidation, en centrant l'étude sur les états variés où elle se produit: (*a*) gestation normale; (*b*) variations naturelles de la gestation, telles que l'implantation retardée ou la gestation ectopique et (*c*) implantations spécifiquement localisées (rat à trompe, *Elephantulus*, et roussette, *Pteropus gigantus*).

Il est utile de résumer brièvement l'histoire de l'œuf fécondé chez les mammifères (pour une description détaillée voir [1, 2]). Après la fécondation, la segmentation se produit. C'est un cas spécial de division mitotique. Au stade huit, les cellules ont une tendance particulière à prendre une disposition centrale, avec une orientation radiale des fuseaux de division: c'est la morula. Dans les divisions suivantes, les cellules périphériques se divisent plus activement. A ce moment, un liquide s'accumule dans les espaces intercellulaires, entre la masse interne de cellules (cellules centrales) et les cellules du trophoblaste (périphériques). Cette petite vésicule, formée d'une cavité ovoïde de cellules, avec une masse interne de cellules disposée excentriquement, est le blastocyste. A ce stade, l'œuf a déjà traversé la trompe utérine.

La manière dont l'œuf atteint les trompes utérines, après l'ovulation, reste incertaine. Le passage de l'œuf fécondé à travers la trompe, pendant la segmentation, dure habituellement, chez la plupart des mammifères, trois à quatre jours. Chez l'opossum, il ne demande qu'un jour; chez le chien et le chat, environ sept. Ce temps est indépendant de la longueur de la trompe, de sa taille ou de son calibre, ainsi que de la durée de la gestation.

Dans la lumière de l'utérus, le blastocyste reste libre pendant une période qui varie beaucoup d'une espèce à l'autre. Chez le rat et la souris, elle est d'environ 36 à 40 heures, légèrement plus longue chez le cobaye et de quatre jours chez le lapin. A la fin de cette période libre, le blastocyste s'implante. Chez l'homme, l'implantation se fait six jours après l'ovulation; chez le macaque, neuf jours; chez le chat, environ treize jours. Chez de nombreux mammifères (au moins onze espèces réparties entre trois ordres très divers d'Euthériens) la vie utérine libre peut durer de plusieurs semaines jusqu'à dix mois (blaireau, *Meles meles*). On parle alors d'implantation retardée, mais il est préférable de dire implantation différée.

En plus de ces nidations différées naturelles, il existe quelques espèces (rongeurs, certains insectivores et marsupiaux) chez lesquels la nidation est différée, plus précisément retardée, par des facteurs physiologiques associés à la lactation.

Durant la période du blastocyste libre, l'œuf prend sa place et des modifications de préimplantation se produisent dans l'utérus, sous le contrôle des hormones ovariennes, dépendant de l'hypophyse. On s'accorde sur le fait que la progestérone (hormone lutéique de l'ovaire) est nécessaire pour le maintien du blastocyste et la préparation de l'endomètre.

Le stade qui suit la nidation est la placentation ou formation du placenta. On peut la définir comme une apposition, ou une fusion, de la membrane fœtale et de la membrane utérine, pour permettre les échanges physiologiques [15]. Nous nous intéressons principalement à ce stade, du fait que l'implantation du blastocyste en marque le début et que certains phénomènes physiologiques, qui se produisent avec le développement de constituants cellulaires particuliers durant la prénidation, jouent des rôles vitaux dans la placentation. Spécifiquement, c'est la décidua (constituant maternel du placenta, composé de cellules déciduales) qui commence son développement avant l'implantation. Dans quelques espèces, les cellules déciduales apparaissent à l'endroit de l'implantation avant que l'œuf ne s'implante. Chez d'autres, elles peuvent apparaître plus tard, mais nous croyons que le stimulus initial se produit plus tôt et qu'il est, en fait, associé à l'implantation du blastocyste.

Revenons au problème spécifique de la nidation. Nous avons fait cette description générale à partir d'études anatomiques du tractus génital femelle en progestation (en utilisant ce mot, comme le font les chercheurs français, pour désigner la période de gestation antérieure à l'implantation). Les modifications histologiques de l'endomètre sont évidentes après l'ovulation. Ces modifications, qui préparent apparemment la réception de l'œuf fécondé, régressent en l'absence de fécondation. S'il y a fécondation, l'endomètre continue à se préparer pour recevoir l'œuf. Diverses substances s'accumulent dans le tissu utérin. Grâce aux techniques récentes histo- et cytochimiques, on a pu montrer l'existence de polysaccharides, de vitamines et de nombreuses enzymes. Les études de la vascularisation utérine marquent nettement les modifications survenues au cours de la progestation. Celles-ci permettent apparemment un débit accru de sang, tant général que localisé. On a vu que le point de départ du développement vasculaire est en rapport avec le lieu d'implantation. Mais le mécanisme de la localisation réelle ou apparente n'a pas été élucidé. L'examen microscopique des œufs fécondés dans la trompe utérine nous permet de suivre en gros la croissance. La structure peut fournir des renseignements; ainsi on croit que le trophoblaste possède une activité lytique ou digestive, mais il nous manque la preuve biochimique de ce phénomène.

Il est évident que les contributions morphologiques ont été fondamentales pour les travaux physiologiques et biochimiques. Cependant on ne peut atteindre, à partir des seules études anatomiques, l'origine des mécanismes d'interaction entre utérus et blastocyste, conduisant à la nidation, bien que des examens cyto- et histochimiques, basés sur des mécanismes hypothétiques, puissent conduire à des confirmations.

Les facteurs physiologiques en rapport avec la gestation normale et retardée ont été étudiés par beaucoup de chercheurs; mais, pour la plupart, ils ont surtout envisagé les besoins hormonaux. Le travail fondamental de Fränkel, sur la nécessité du corps jaune de l'ovaire pour l'implantation, a été confirmé et étendu par beaucoup de chercheurs (voir [6]). Il est bien établi qu'un équilibre convenable entre les hormones folliculaires (œstrogènes) et celles du corps jaune (progestérone) est essentiel. Le rapport précis, assez changeant, n'est pas encore établi. Nous savons aussi, surtout d'après des études sur l'implantation retardée, que les œstrogènes sont essentiels pour l'implantation.

On ne sait pas d'une manière précise comment les hormones établissent un milieu propre au blastocyste, ni quelles sont les conditions pour que le revêtement de l'utérus puisse répondre à la présence du blastocyste non implanté. Le travail en cours sur les relations enzymes–hormones [16, 27] nous aide à comprendre le rôle possible des œstrogènes dans le déclenchement de l'implantation. La découverte récente qu'un œstrogène, activateur initial, libère de l'histamine [22, 25] a donné une base à ce que l'on a appelé la conception histaminique de la nidation [23, 24].

A part l'estimation des besoins hormonaux, on connaît peu de chose sur les besoins métaboliques de l'implantation. Certaines vitamines sont apparemment nécessaires, puisque leur absence provoque le défaut d'implantation. Les besoins ioniques ou énergétiques essentiels à l'implantation sont encore à définir, bien que l'on ait signalé le fait que le blastocyste a un métabolisme anaérobie. Le calcium paraît jouer un rôle. Les études histochimiques de l'utérus au début de la gestation [8] et du placenta [28] deviennent plus communes. Mais cet édifice fragmentaire n'a pas encore conduit à un schéma explicatif de l'implantation. Le travail élégant et méticuleux de C. Lutwak-Mann [12], dans lequel elle a réuni avec ses collaborateurs, des données sur le poids du blastocyste du lapin, sur certains de ses constituants (N, P, Na, K, Cl, sucres réducteurs, bicarbonates), sur le bilan métabolique et sur ses réactions aux hormones et aux agents toxiques se poursuit et s'étend dans le groupe de Cambridge.

Récemment R. A. Popp [18] a utilisé des composés au C^{14} avec des techniques autoradiographiques et chromatographiques sur les blastocystes et les utérus de souris.

Les techniques expérimentales offrent un vaste champ d'action pour étudier la nidation naturelle, ainsi que les implantations retardée, différée et ectopique; pour exploiter les aspects divers de l'embryologie comparée et étudier les conditions artificielles, en rapport avec des phases particulières de l'implantation de l'œuf.

On peut tenter d'agir sur l'implantation en modifiant le milieu hormonal: privation par ablation de glandes endocrines, excès par greffes de glandes ou injection d'hormones. Une autre possibilité est d'altérer l'état physiologique par d'autres moyens. On a exploité sporadiquement, mais non systématiquement dans le cadre d'une hypothèse, l'altération du milieu métabolique par des moyens nutritifs, biochimiques, physiologiques ou mécaniques. On s'est servi de l'action des drogues sur le début de la gestation, surtout des agents toxiques et des antimétabolites [19, 26]; mais ces drogues n'ont pas permis l'analyse des facteurs de l'implantation. L'utilisation de techniques chirurgicales — transplantation de blastocystes, retournement de segments de l'utérus et altération de la circulation sanguine — a fourni beaucoup de données, mais pas encore un schéma logique.

Il y a plusieurs années, l'auteur s'est intéressé au mécanisme de nidation et a projeté des expériences pour exploiter le phénomène de formation du déciduome. En 1907, L. Loeb [11] observa qu'une blessure faite à l'utérus d'un cobaye provoquait la croissance d'une petite masse de cellules de l'endomètre. Puisque ces cellules étaient des cellules du stroma, transformées en cellules déciduales, cette prolifération fut appelée déciduome.

Durant les décennies qui suivirent l'observation originale de Loeb, on a accumulé des informations sur le déciduome. Les faits essentiels à notre problème sont les suivants: (1) le déciduome artificiellement provoqué mime dans sa structure et sa fonction le placenta maternel à son début; (2) les besoins en hormones pour le provoquer sont similaires sinon identiques aux besoins hormonaux de l'implantation; (3) l'utérus, sensibilisé par une action hormonale convenable, peut sous l'action d'un stimulus développer une réaction cellulaire.

Il est clair que, bien que la balance hormonale nécessaire à l'implantation soit assez bien définie (comme nous l'avons dit), les moyens par lesquels le blastocyste signale sa présence et provoque la réponse déciduale (s'il le fait) sont inconnus. Après avoir décidé d'utiliser le déciduome et son induction comme outil expérimental, le premier travail était d'établir la nature du stimulus ou facteur inducteur du déciduome.

Une grande variété de stimulus provoquent la formation de déciduomes chez un animal porteur d'un utérus convenablement sensibilisé. Aussi la recherche d'un inducteur spécifique a-t-elle commencé par la recherche d'un inhibiteur spécifique d'un inducteur supposé. Puisque les nombreuses méthodes utilisées pour provoquer la formation de déciduomes impliquent toutes quelque blessure, l'étude initiale a porté sur les métabolites associés aux blessures et à leurs inhibiteurs spécifiques. Le premier complexe considéré a été l'histamine-antihistamine.

Le fait que l'instillation de traces d'histamine dans un utérus de rat, sensibilisé par les hormones, provoque un gros déciduome n'était pas en lui-même une preuve suffisante. Pourtant, si l'on place des antagonistes de l'histamine dans la lumière de l'utérus, il ne se produit aucun déciduome. On pouvait affirmer à partir de ces données que l'histamine joue un rôle. L'inhibition par les antihistaminiques étant efficace vis-à-vis de n'importe quel moyen de stimuler l'endomètre, les résultats de ces expériences préliminaires suggéraient fortement un rôle de l'histamine dans l'induction des réactions des cellules déciduales, mais on ne pouvait les considérer comme une preuve. Les drogues antihistaminiques ont notoirement de nombreuses actions secondaires et un dommage important, ou un accroissement local de la balance hormonale requise, peut se produire. Puisque l'inhibition antihistaminique du développement des cellules déciduales était à la base de la tentative d'élucidation du mécanisme, il était nécessaire d'établir la validité du blocage spécifique de l'histamine comme base de départ du développement des cellules déciduales [20].

On a fait des expériences utilisant des drogues, dont les actions primaires sont auxiliaires de l'antagonisme à l'histamine des antihistaminiques, telles que les anesthésiques locaux, les vasopresseurs et les oxytocines. Elles ne suppriment pas la réaction déciduale, sauf quand elles miment un inhibiteur de l'histamine. Les observations cytologiques de l'activité mitotique après les antihistamines et la comparaison avec les irritants corrosifs des tissus excluent la possibilité que la destruction des tissus puisse être la base du défaut

de développement du déciduome. L'altération de la balance hormonale n'empêche, ni ne prévient, l'inhibition par les antihistamines de la décidualisation [20].

Si l'histamine est en fait un métabolite capable d'induire la réaction des cellules déciduales, il devrait être possible de provoquer cette réaction dans un utérus sensibilisé hormonalement, en faisant agir l'histamine par des moyens organiques et sans traumatiser le tissu. Ceci a été réalisé avec succès par P. F. Kraicer et l'auteur [10], qui ont induit des réactions déciduales chez des rats en pseudogestation — celle-ci offrant un utérus vide de blastocystes, mais néanmoins sensibilisé par les hormones — avec des injections massives intravasculaires et intrapéritonéales d'histamine, ou de substances dégageant de l'histamine. Il n'y avait aucun contact physique ou chirurgical avec l'utérus.

Cette technique a fourni non seulement une preuve de plus du rôle de l'histamine, mais aussi une méthode critique, sans traumatisme, pour l'étude de la réponse déciduale dans la pseudogestation (sans blastocyste) et dans les utérus en progestation (avec blastocystes).

Armé de cette information assignant à l'histamine un rôle dans l'induction de la décidualisation «artificielle», il était possible de s'intéresser au phénomène décidual en rapport avec l'implantation des blastocystes. Les expériences initiales ont montré que l'instillation de très petites quantités de solutions d'antihistaminiques dans la lumière d'un utérus en progestation bloquent complètement la décidualisation et l'implantation qui suit. Il y avait maintenant assez de preuves indirectes pour montrer le rôle de l'histamine dans l'utérus en progestation.

La première tentative fut d'évaluer la population de mastocytes [29]. Il est bien établi que, chez le rat, les mastocytes contiennent des réserves d'histamine et que la rupture et la disparition des mastocytes dans les tissus, à la suite de l'administration de libérateurs d'histamine, est la preuve de cette libération. On a coloré, pour la mise en évidence des mastocytes, des coupes longitudinales complètes d'utérus en progestation et compté le nombre de ces cellules dans l'endomètre. Les numérations faites à de courts intervalles de temps, au cours de la période de préimplantation ont révélé une disparition presque complète des mastocytes durant les 24 à 36 heures qui précèdent l'enrobement physique du blastocyste [24].

Cette preuve indirecte, morphologique, de la libération d'histamine et de son utilisation métabolique dans l'utérus avant l'implantation justifiait une étude directe de la teneur en histamine du tissu utérin à des moments parallèles. On a traité des utérus progravides de rats gestants à l'acide trichloracétique, pour extraire l'histamine des tissus, et essayé biologiquement l'extrait à l'éther en utilisant l'intestin atropinisé du cobaye. Les résultats obtenus montrent une corrélation complète avec la densité de la population de mastocytes [22] (figure 1).

On pouvait donc conclure que l'histamine induit la réaction des cellules déciduales. Mais il n'était pas encore prouvé que la décidualisation conduise directement à l'implantation de l'œuf. On pouvait alors appliquer plusieurs tests. Les études sur l'implantation retardée, qu'il s'agisse d'un retard physiologique au cours de la lactation ou expérimentalement induit [13], nous ont appris que de petites doses d'œstrogène provoquent la décidualisation et la pénétration du blastocyste dans l'endomètre. Si l'action de l'œstrogène dépend du mécanisme histaminique, deux conditions devraient être satisfaites: (1) les œstrogènes, comme l'histamine, devraient induire des déciduomes; et (2) ces œstrogènes devraient libérer de l'histamine. Dans des expériences faites sur le rat, on a provoqué un déciduome par une seule injection d'œstrogène chez un animal présentant un utérus convenablement préparé [9]. La première condition est donc satisfaite. De récentes études, sur la teneur en histamine d'utérus de rats après injection physiologique d'œstrogène, ont montré que ceux-ci provoquent une libération d'histamine dans l'utérus [21, 25]. Ceci satisfait la seconde condition.

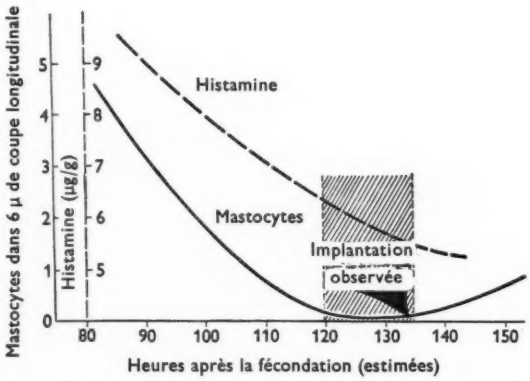


FIGURE 1 — *Variation du nombre de mastocytes de l'endomètre et concentration d'histamine dans l'utérus au début de la gestation.*

La conformité du comportement des œstrogènes avec la théorie de l'induction histaminique de la décidualisation étant prouvée, il restait la question de savoir si l'induction de la réaction des cellules déciduales conduit *ipso facto* à l'implantation du blastocyste. On peut répondre à cette question en utilisant l'implantation expérimentalement retardée chez le rat, et en voyant si l'induction de la décidualisation par des libérateurs d'histamine provoque bien la nidation dans l'utérus du blastocyste «au repos».

En utilisant les techniques des chercheurs français [3, 4, 13] on a pu obtenir des rats présentant des œufs fécondés (blastocystes) dans l'utérus (implantation retardée). Dans la gestation normale, le blastocyste s'implante environ 5 à 6 jours après l'accouplement. Chez les animaux traités, les blastocystes peuvent rester intacts et au repos plusieurs semaines dans l'utérus. L'administration de petites quantités d'œstrogènes produit l'implantation. Nous avons essayé de provoquer l'implantation chez des rats, durant la période d'implantation expérimentalement retardée, en induisant la réaction déciduale par une libération physiologique d'histamine [9]. L'histamine libérée provoque la décidualisation, mais les blastocystes ne s'implantent pas, en dépit d'un enrobement massif par les cellules déciduales.

La réaction déciduale est donc un constituant essentiel du phénomène de nidation, mais elle ne provoque pas obligatoirement l'implantation de blastocystes (probablement prêts à cette implantation). Manifestement le mécanisme comporte au moins deux parties et, alors que le libérateur d'histamine ne peut activer le blastocyste quiescent, l'œstrogène le fait. Puisque l'œstrogène libère de l'histamine et provoque ainsi la décidualisation, on peut présumer une action secondaire de l'œstrogène sur le complexe endomètre-blastocyste soit directe, soit indirecte, et l'on doit supposer que cette action est synchrone de l'induction de la décidualisation.

On a étudié cette synchronisation en injectant des libérateurs d'histamine (provoquant la décidualisation) à des moments précis de la pseudogestation ou de la progestation. Il a été possible de démontrer que la sensibilité de l'utérus ne dure qu'un moment très limité, parallèle dans les deux phénomènes. On a aussi pu démontrer cette coïncidence dans le temps en utilisant un transfert d'œufs d'âges variés (3 à 5 jours) dans des utérus à des stades divers de pseudogestation [5, 14, 17].

Ces données ont permis à l'auteur et à ses collaborateurs de supposer un mécanisme de l'implantation de l'œuf qui se prête aux expériences et fournit une base pour de nouvelles recherches centrées sur les aspects biochimiques spécifiques des relations blastocyste-endomètre. Examinons maintenant le problème important des communications.

Le mécanisme avancé est celui-ci. A la suite de la fécondation des œufs, les corps jaunes — qui ont commencé à se développer à la place des follicules ovariens aussitôt après l'ovulation — persistent et fournissent une sécrétion active de progestérone. L'état physiologique du tractus génital est sous son contrôle et la dominance de la progestérone est essentielle pour la segmentation normale de l'œuf et sa migration au lieu d'implantation, sous la forme de blastocyste. Durant la période de prédominance de la progestérone, il se produit un bref épisode que nous décrivons comme une vague d'œstrogène. Cet œstrogène organique ou local agit sur le complexe blastocyste-endomètre; il déclenche la décidualisation de l'utérus et en même temps active le blastocyste, provoquant son implantation dans l'endomètre au moment où celui-ci est récepteur (figure 2). Nous supposons que la source de la vague d'œstrogène dépend de l'espèce, en relation avec la nature du cycle œstrien. Chez le rat où le cycle dure 4 à 5 jours avec une ovulation spontanée, nous avons des raisons de penser que l'ovaire est la source primaire de la vague d'œstrogène et que celle-ci se produit au moment où devrait normalement se produire la décharge en proœstrus, si l'animal ne commençait pas une gestation. La progestérone de gestation a apparemment atténué, mais non supprimé totalement, le cycle œstrien de 4 à 5 jours. Dans cette espèce, on peut aussi considérer la

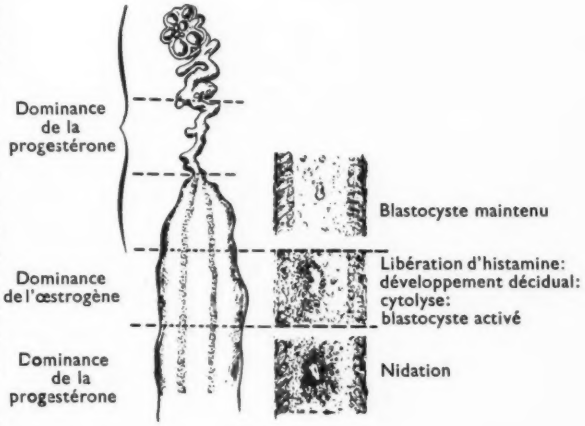


FIGURE 2

possibilité que le blastocyste fournisse lui-même de l'œstrogène. Nous supposons aussi l'existence d'une substance (peut-être associée à la zone pellucide) du blastocyste qui augmente la libération d'histamine, soit indirectement par la vague d'œstrogène, soit directement. Dans les espèces où l'ovulation se produit seulement après le coït, comme le lapin et le chat, nous supposons que la vague d'œstrogène provient directement du blastocyste ou de ses membranes.

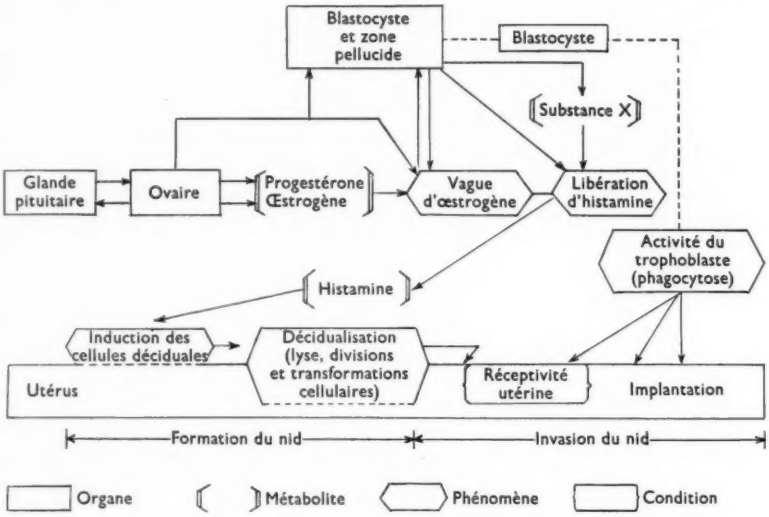


FIGURE 3

La vague d'œstrogène est suivie d'une libération d'histamine qui provoque la transformation des cellules du stroma de l'endomètre en cellules déciduales. Au début de la réaction déciduale, la lyse des tissus peut se détecter avant toute modification morphologique visible. Cette activité fournit un milieu plus récepteur à l'invasion du blastocyste. Ainsi la nidation présente deux phases: la formation du nid (préparation de l'endomètre par décidualisation) et l'invasion du nid (par le blastocyste activé) déclenchée par une vague intrinsèque d'œstrogène. Blastocyste et endomètre jouent chacun leur rôle et ces rôles sont commandés par les hormones ovariennes et les hormones et métabolites associés (figure 3).

BIBLIOGRAPHIE

[1] Amoroso, E. C. Dans «Marshall's Physiology of Reproduction» A. S. Parkes (publié par). Vol. II. Longmans, Green & Co., Londres. 1952.

[2] Boyd, J. D. et Hamilton, W. J. *Ibid.*

[3] Caniveng, R., Laffargue, M. et Mayer, G. *C.R. Soc. Biol., Paris*, **150**, 2208, 1956.

[4] Chambon, Y. *Ibid.*, **143**, 756, 1949.

[5] Chang, M. C. *Fertil. and Steril.*, **2**, 205, 1951.

[6] Courrier, R. «Endocrinologie de la gestation». Masson, Paris. 1945. *Idem. Vitam. and Horm.*, **8**, 179, 1950.

[7] Eckstein, P. E., Shelesnyak, M. C. et Amoroso, E. C. *Mem. Soc. Endocrinol.*, **6**, 3, 1959.

[8] Hertig, A. T., Rock, J. et Adams, E. C. *Amer. J. Anat.*, **98**, 435, 1956.

[9] Johnson, T. H. et Shelesnyak, M. C. *J. Endocrinol.*, **17**, xxi, 1958.

[10] Kraicer, P. F. et Shelesnyak, M. C. *Ibid.*, **17**, 324, 1958.

[11] Loeb, L. *Zbl. allg. Path. path. Anat.*, **18**, 563, 1907.

[12] Lutwak-Mann, C. *Mem. Soc. Endocrinol.*, **6**, 33, 1959.

[13] Mayer, G. *Bull. Soc. Belge Gynéc. Obstét.*, **29**, 1, 1959.

[14] McLaren, A. et Michie, D. *Mem. Soc. Endocrinol.*, **6**, 65, 1959.

[15] Mossman, H. W. *Contr. Embryol. Carneg. Inst.*, **26**, 129, 1937.

[16] Mueller, G. C., Herranen, A. M. et Jervell, K. F. *Recent Progr. Hormone Res.*, **14**, 95, 1958.

[17] Noyes, R. W. et Dickmann, Z. *Proc. Conf. Physiol. Mech. Concern. Conception.* W. O. Nelson (publié par). Pergamon Press, New York. (Sous presse.)

[18] Popp, R. A. *J. exp. Zool.*, **138**, 1, 1958.

[19] Robson, J. M. *Mem. Soc. Endocrinol.*, **6**, 54, 1959.

[20] Shelesnyak, M. C. *Recent. Progr. Hormones Res.*, **13**, 269, 1957.

[21] *Idem. Proc. Soc. exp. Biol. Med.*, **100**, 380, 1959.

[22] *Idem. Ibid.*, **100**, 739, 1959.

[23] *Idem. Mem. Soc. Endocrinol.*, **6**, 84, 1959.

[24] *Idem. Proc.* VI *Int. Congr. Plan. Parenthood Fed., New* Delhi. (Sous presse.)

[25] Spaziani, E. et Szego, C. M. *Endocrinology*, **63**, 669, 1958.

[26] Thiersch, J. B. *Acta endocr., Copenhagen*, Suppl. **28**, 37, 1956. *Idem. Proc. Conf. Physiol. Mech. Concern. Conception.* W. O. Nelson (publié par). Pergamon Press, New-York. (Sous presse.)

[27] Villee, C. A. «Gestation», *Trans. 3rd Conf.* C. A. Villee (publié par). Josiah Macy Jr Foundation, New-York. 1956.

[28] Wislocki, G. B. Dans «Allen's Sex and Internal Secretions» (3e édition). E. W. Dempsey (publié par). (Sous presse.)

[29] Riley, J. F. *Endeavour*, **19**, 4, 1959.

Origine et nature de la Lune

par H. C. UREY

Les photographies de la face cachée de la Lune transmises par le satellite russe ont stimulé l'intérêt porté au problème de l'origine et de la nature de la Lune. L'auteur du présent article examine les théories actuelles et évoque les conclusions que l'on peut tirer de ces photographies. D'autres satellites artificiels seront lancés autour de la Lune, et la contribution qu'ils pourront apporter à nos connaissances est également envisagée.

ORIGINE DES CRATÈRES

En 1893, G. K. Gilbert, qui semble avoir été au cours du siècle dernier le seul à étudier la surface de la Lune avec de solides connaissances en géologie physique, publia un article remarquable sur «la face lunaire» [1]. Il passait en revue de nombreuses caractéristiques des cirques lunaires et en concluait que ceux-ci résultaient de fortes collisions de météorites avec la surface de la Lune. Plus récemment, R. B. Baldwin [2] dans son livre *The Moon's Face*, a présenté une étude des données concernant l'origine des cratères. Baldwin donne de nombreuses références à la littérature ancienne et examine en détail les deux hypothèses: origine volcanique et origine par collision. La théorie de l'origine volcanique des cirques avait été proposée avant que les savants ne s'aperçoivent que des météorites tombaient sur la Terre, et il fallut presque un siècle de discussions avant que les astronomes acceptent la formation de beaucoup de cratères par impact.

Gilbert notait dans ses conclusions que les structures lunaires ne sont pas semblables aux structures terrestres, que le groupement des impacts est celui que l'on peut attendre du hasard et qu'il n'existe sur la Lune aucune structure semblable aux volcans terrestres, compte tenu de l'absence d'érosion. Il admettait, cependant, qu'il existe de petits cratères qui ne peuvent provenir de collisions et doivent donc être d'un certain type volcanique, même si leur forme n'est pas celle des volcans terrestres.

De nombreux problèmes concernant la Lune peuvent être nettement résolus par l'étude de sa forme générale et de la nature d'un des principaux éléments du relief, le grand impact de la Mer des Pluies.

FORME DE LA LUNE

Des mesures des reliefs de la surface lunaire ont été effectuées, mais les méthodes d'observation sont compliquées et pas très précises. La preuve certaine de l'irrégularité de sa forme est fournie par ses mouvements dynamiques. Les manuels de mécanique céleste donnent une formule pour évaluer la différence existant entre le moment d'inertie relatif à l'axe des pôles (C) et celui relatif à l'axe dirigé vers la Terre (A). D'après les données d'observation, on obtient $(C-A)/C=$ 0,000 629, alors que la valeur théorique calculée d'après la forme de la Lune sous l'action de son propre champ de gravitation, le champ de gravitation de la Terre, et les forces de rotation centrifuges, est seulement de 0,000 037 5. Le rapport de ces nombres est de 16,7 : 1. Si la densité de la Lune est uniforme, il est nécessaire selon les observations que le rayon dirigé vers la Terre surpasse en longueur celui des pôles d'environ 1 km, alors que selon la théorie, cette différence ne serait que de 60 m environ. La forme irrégulière doit provenir d'une différence de tension au centre d'environ 20 atmosphères, et ceci suppose une résistance considérable des matériaux en profondeur si la densité de la Lune est partout uniforme.

Si la densité de la Lune n'est pas uniforme, mais varie légèrement suivant la latitude et la longitude, l'irrégularité de la forme peut s'expliquer grâce à une théorie récemment proposée. Ceci exige que la densité près des pôles soit plus forte que celle existant aux environs de l'axe dirigé vers la Terre. Dans ce cas, la résistance en profondeur pourrait n'être pas très élevée et le centre pourrait se trouver à haute température. Cependant, cette variation de la densité avec la latitude et la longitude ne pourrait guère avoir été conservée dans le cas où la Lune aurait subi une fusion générale.

Cependant, la Lune peut-elle avoir été en fusion, même si elle possède une densité uniforme? Une masse aussi importante ne peut se refroidir que très lentement, même pendant une

période aussi longue que celle de son existence, évaluée à environ 4,5 «éons» (un «éon» étant équivalent à 10^9 années). On suppose que cet âge est le même que celui des météorites. Les calculs de déperdition de chaleur indiquent que le centre de la Lune ne perdrait que peu de chaleur même pendant cette longue période. Si la Lune s'était à un certain moment trouvée en fusion, la température de son centre pourrait encore être très proche du point de fusion, et elle n'aurait donc pas la résistance nécessaire pour supporter l'irrégularité de sa forme.

La présence d'éléments radioactifs, potassium, uranium et thorium, accroît généralement la température interne, l'importance de leur action dépendant naturellement des quantités présentes et de leur répartition. Nous ne connaissons rien de la répartition de ces éléments dans la Lune, et nous ne pouvons évaluer que difficilement leur répartition dans la Terre. Cependant, si la déperdition de chaleur de la Terre est compensée entièrement par la radioactivité, nous estimons que la quantité totale de ces éléments se trouvant dans la Terre peut être équivalente à celle se trouvant dans les météorites, la moitié environ étant probablement dans la croûte terrestre. Une répartition semblable dans la Lune maintiendrait la température interne au-dessus du point de fusion si la Lune s'était trouvée en fusion à l'origine. En fait, toute la partie interne, sur environ les 8/10 du rayon, serait au point de fusion si la température initiale avait été celle de la fusion des silicates. Une telle conclusion est, cependant, incompatible avec la forme de la Lune qui a dû par conséquent être formée à basse température.

Nous pouvons nous demander si l'intérieur de la Lune peut à l'heure actuelle être en fusion sous l'influence de la chaleur résultant de la radioactivité, même dans le cas où elle se serait formée à basse température. Nous ne pouvons répondre à cette question avec certitude. Nous ne connaissons pas la concentration des éléments radioactifs dans la Lune. Nous pouvons estimer que cette concentration est équivalente à celle des météorites, mais sans en être certains. Les calculs indiquent que tout le fer-nickel métallique présent en profondeur à l'intérieur de la Lune serait fondu, mais en fait, nous ne possédons aucune preuve de l'existence de fer métallique dans la Lune. La matière qui forme la Lune n'est pas une substance pure et ne pourrait par conséquent fondre à une seule et même température: les calculs indiquent qu'une fusion partielle des silicates pourrait se produire. Seule l'hypothèse d'une variation de la densité avec la latitude et la longitude peut concilier toutes ces observations. Cette explication est compatible avec une masse interne partiellement fondue à l'heure actuelle, mais incompatible avec un état de fusion généralisée dans un passé reculé [3].

En 1862, Kelvin [4] rédigea un article concernant la solidification de la Terre à partir d'un état de fusion complète. A cette époque, on ne connaissait aucune autre source de chaleur pour l'activité des volcans que la chaleur primitive résiduelle, et il attribua en conséquence à la Terre une haute température d'origine.

La découverte de la radioactivité au début du siècle a rendu inutile l'hypothèse de Kelvin, mais le problème ne fut pas réétudié dans son ensemble à cette époque.

L'IMPACT DE LA MER DES PLUIES

Une très forte collision s'est produite dans la Mer des Pluies (Mare Imbrium) à une certaine époque du passé: cet événement fut découvert et décrit par Gilbert. Cela a modifié directement une vaste fraction de l'hémisphère visible de la Lune. La région de la Mer des Pluies est représentée sur la figure 1 qui est une image reconstituée de la Lune. Elle est également représentée sur la figure 2 qui a été obtenue en projetant des images sur une sphère blanche, puis en photographiant la mer depuis un point situé directement au-dessus d'elle. Les traits pleins délimitent les positions de la Baie de l'Arc-en-ciel ou Sinus Iridum, zone circulaire placée en avant, et de la mer tout entière. De nombreuses crêtes rayonnent à partir de la zone circulaire, surtout en direction du sud-ouest: de nombreux sillons apparaissent également à la surface et sont visibles sur de bonnes photographies. Gilbert avait remarqué ces accidents, sauf en ce qui concerne le rapport évident de Sinus Iridum avec cet ensemble caractéristique. Il est plus logique de penser que tous ces détails sont liés et ont été produits par un même événement. L'ensemble est asymétrique et l'on peut en conclure que l'objet percuteur est arrivé du nord-est sous un angle appréciable par rapport à la verticale, qu'il a creusé un trou profond dans la Lune et projeté une partie de sa propre substance et de la substance lunaire dans une vaste zone en forme d'éventail et à de grandes distances. L'objet s'est probablement enfoncé dans Sinus Iridum soit en produisant cette baie, soit en détruisant une muraille entourant une plaine. Il est possible également qu'une seconde

collision de grande importance se soit produite précisément dans la même région après la formation de la Mer des Pluies, mais il est assez invraisemblable d'imaginer deux forts impacts exactement au même endroit et il est donc plus probable que cet ensemble a été produit par une seule et même grande collision.

Quelques-uns des arêtes et des sillons traversent les monts du Jura au nord-est de Sinus Iridum. La partie principale de la région accidentée s'étend en forme d'éventail semi-circulaire depuis la bordure des montagnes des Carpathes à l'est jusqu'à Platon à l'ouest de Sinus Iridum. On trouve au centre du disque lunaire et plus bas, des crêtes montagneuses dirigées vers la zone circulaire de l'impact. Des objets de forte densité ont labouré les remparts de Ptolémée et d'Alphonse en produisant de profondes rainures à la surface: il est raisonnable de supposer que ces objets étaient en fer-nickel. On observe sur l'Océan des Tempêtes (Oceanus Procellarum) un grand nombre de courtes arêtes, généralement orientées en direction de la zone d'impact.

La vitesse de rotation de la surface de la Lune est de 1,7 km à la seconde et, puisque les objets ont été éparpillés à environ 1 000 ou 1 500 km du point d'impact, ils devaient être animés d'une vitesse à peu près égale. Le schéma d'ensemble des traces indique que l'objet principal se déplaçait à une vitesse inférieure à celle du son dans la matière qui le composait, soit dans ce cas, environ 5–7 km à la seconde. Un objet se déplaçant à grande vitesse, par exemple 30 km à la seconde, s'enfoncerait dans le sol avant que le côté opposé ne reçoive le signal du contact et l'explosion donnerait une distribution symétrique. Mais si l'objet possède une vitesse inférieure à celle du son, mettons 2,4 km à la seconde environ, la vitesse d'éloignement de la Lune, on peut comprendre l'asymétrie du résultat. Il se produit alors une perte d'accélération de la partie supérieure de l'objet suivant une direction verticale et cette partie peut s'éloigner horizontalement à une vitesse d'environ 1,7 km à la seconde; il est probable que des particules en seraient projetées et réparties en éventail. Cet objet peut avoir été un satellite du système Terre-Lune ou s'être déplacé sur une orbite semblable à celle de la Terre.

Quelle qu'ait été sa nature, l'objet a probablement produit Sinus Iridum et, de ce fait, a dû passer entre les deux promontoires, Laplace et Héraclides; la distance entre ceux-ci étant d'environ 230 km, le diamètre de la petite planète ne pourrait donc dépasser ce chiffre. Gilbert propose 160 km pour le diamètre. D'autres suggestions ont été avancées, mais reposent sur des bases moins directes. On peut effectuer des calculs d'énergie cinétique en prenant 200 km comme valeur vraisemblable. En supposant une densité de 3,5 g/cm^3 et une vitesse de 2,38 km à la seconde (vitesse d'éloignement de la Lune) l'énergie cinétique serait de $4{,}15 \times 10^{32}$ ergs. On estime que les plus forts séismes développent une énergie d'environ 10^{24} ergs.

Une collision de cette ampleur est donc beaucoup plus importante que toutes celles qui ont jamais pu être observées, et tout calcul proportionnel à partir d'observations terrestres ne donnerait que des résultats de valeur fort douteuse. Il est préférable de considérer cette collision comme un fait d'observation, et d'essayer d'en tirer des données concernant les très grands impacts. L'objet s'est enfoncé dans Sinus Iridum, puis s'est redressé dans la zone d'impact en soulevant un vaste renflement sur la surface de la Lune, dans toutes les directions mais particulièrement vers l'avant, en direction du centre du disque visible de la Lune. Cette partie de la surface a été complètement détruite, peut-être même réduite à la consistance de sable fin, et, après la collision, une partie de ces matériaux s'est encore affaissée, produisant la zone en plateforme entre les anneaux intérieur et extérieur indiqués figure 2.

Il est possible qu'une portion de la surface de la Lune ait été soulevée puis soit retombée en gros blocs pour former l'alignement de Piton, Pico, Spitzberg et autres masses montagneuses indiquées par les flèches sur la figure 2. Les montagnes des Alpes, du Caucase, des Apennins et des Carpathes peuvent également avoir été formées de la même façon. Les deux premières en particulier ressemblent à ce genre de fragmentation. Il est possible, naturellement, que ces montagnes fassent partie de la petite planète. Les Monts Haemus peuvent être formés de fragments de l'objet percuteur. Les longs sillons peuvent avoir été produits par des objets de forte densité s'enfonçant dans la surface à grande vitesse; ces objets devaient être en nickel-fer métallique et avoir fait partie intégrante du corps percuteur, bien qu'ils se trouvent à une grande distance de la zone d'impact. Il est peu probable que ces objets de nickel-fer aient formé un noyau à l'intérieur de la petite planète mais ils devaient plutôt se trouver isolés dans la masse et mélangés à des silicates.

Il y a d'autres mers circulaires sur la Lune:

Mers des Crises (Crisium), du Nectar (Nectaris), des Humeurs (Humorum) et de la Sérénité (Serenitatis). Au sud et à l'est de la Mer du Nectar, on observe un escarpement proéminent, les Monts Altaï, semblable au versant abrupt qui entoure la Mer des Pluies. La région comprise entre les montagnes et la mer lisse est recouverte de vastes cratères et paraît analogue à la plate-forme de la Mer des Pluies. Les vallées de Rheita et Borda, ainsi que d'autres sillons, rayonnent tout autour de cette mer et peuvent avoir été produites par des projectiles se déplaçant à grande vitesse. Dans la Mer de la Sérénité se trouvent des cratères partiellement recouverts. Il est probable que toutes ces mers ont été produites par des objets s'approchant de la surface sous divers angles. L'aspect extrêmement asymétrique de la Mer des Pluies indique que dans ce cas il s'agit d'une petite planète arrivant sous un angle assez faible. Les autres mers d'impact ont sans doute été produites par des objets tombant plus verticalement, qui ne pouvaient donc provoquer un ensemble aussi vaste de crêtes et de sillons.

DATE DE CES ÉVÉNEMENTS

Certains cirques de la Lune ont dû être produits par des météorites, bien que nous ne pensions pas que des météorites de dimensions véritablement grandes aient jamais frappé la Terre. Certains vastes cratères lunaires sont antérieurs à la collision de la Mer des Pluies tandis que d'autres lui sont postérieurs. Les murailles de Ptolémée (figure 4) ont été abîmées par des projectiles provenant de cette collision, et elles paraissent dans l'ensemble assez basses, comme si elles s'étaient en partie écroulées sous l'action de l'énergie développée. De même des masses montagneuses se sont effondrées dans d'autres cratères, Jules César par exemple. Des cratères, comme Aristillus et Autolycus, ainsi que d'autres se trouvant dans la Mer des Pluies, et sur le bord sud d'Aristophane, sont plus récents que la collision imbrienne; d'autre part, Platon et Archimède n'auraient probablement pas résisté à ce grand choc. On observe de toute évidence des relations semblables dans d'autres mers. Théophile est plus récent que la Mer du Nectar, de même que d'autres cirques de la même région. Tous ces impacts font partie d'une seule et même série d'accidents; certains cratères ont été formés, puis une mer, puis encore d'autres cratères et ainsi de suite. Ces cirques et ces mers couvrent toute la surface visible de la Lune avec une telle densité que toute cette surface a subi une démolition. Au cours de ce bombardement, la Terre a dû être touchée plus violemment que la Lune, étant donnée la plus grande énergie des chocs à sa surface, et aussi parce que son champ de gravitation lui donne de plus grandes chances de collisions. Un tel bombardement a dû détruire toutes les roches sédimentaires terrestres et laisser de grandes balafres sur les boucliers continentaux. L'âge des plus anciennes roches terrestres a été fixé avec certitude à environ 3 éons, alors que les météorites sont âgées d'environ 4,5 éons ou un peu plus. Ainsi le bombardement intense qui s'est produit sur la Lune peut avoir eu lieu il y a plus de 3 éons et peut marquer la phase terminale de la formation de la Lune, de la Terre et même du système solaire.

COMPOSITION DES MERS

On a supposé généralement que les mers étaient formées de laves solidifiées. C'est une hypothèse naturelle, étant donné que les mers possèdent une surface unie comme le serait un liquide dans le champ de gravitation de la Lune. On a supposé également que la lave s'écoulait de l'intérieur de la Lune, mais le raisonnement suivant démontre que cette hypothèse est douteuse. Les laves terrestres ont une température qui ne dépasse pas 1 200°, évaluation raisonnable des températures de fusion du liquide basaltique en équilibre avec les silicates sous l'écorce terrestre. Ce liquide ne peut guère dépasser le point de fusion, car un liquide aussi brûlant fondrait les parois qui le contiennent, puis se refroidirait pour retrouver les conditions d'équilibre. Si un tel liquide s'écoule sur une surface froide, les laves commencent par se solidifier et on ne peut guère comprendre comment il pourrait se répandre très loin sans former de très hautes parois terminales. Il faut remarquer que les défenseurs de ces idées ont posé en principe que le liquide s'écoulait sur de très grandes distances. Les plateaux de lave de l'Orégon et du Deccan s'étendent chacun sur environ 500 000 km², surface plus petite que la Mer des Pluies. S'il existe des coulées de lave sur la Lune, elles sont comparables à celles qui se trouvent sur la Terre, ou même plus vastes. Il paraît probable que si les grandes zones lisses étaient formées de cette manière certaines murailles terminales auraient été conservées [5]. De même, si la surface de la Lune avait été recouverte par de telles quantités de lave à haute température, les montagnes se seraient progressivement enfoncées sous la surface. Se basant sur des arguments semblables, Gilbert concluait, que la Lune était froide

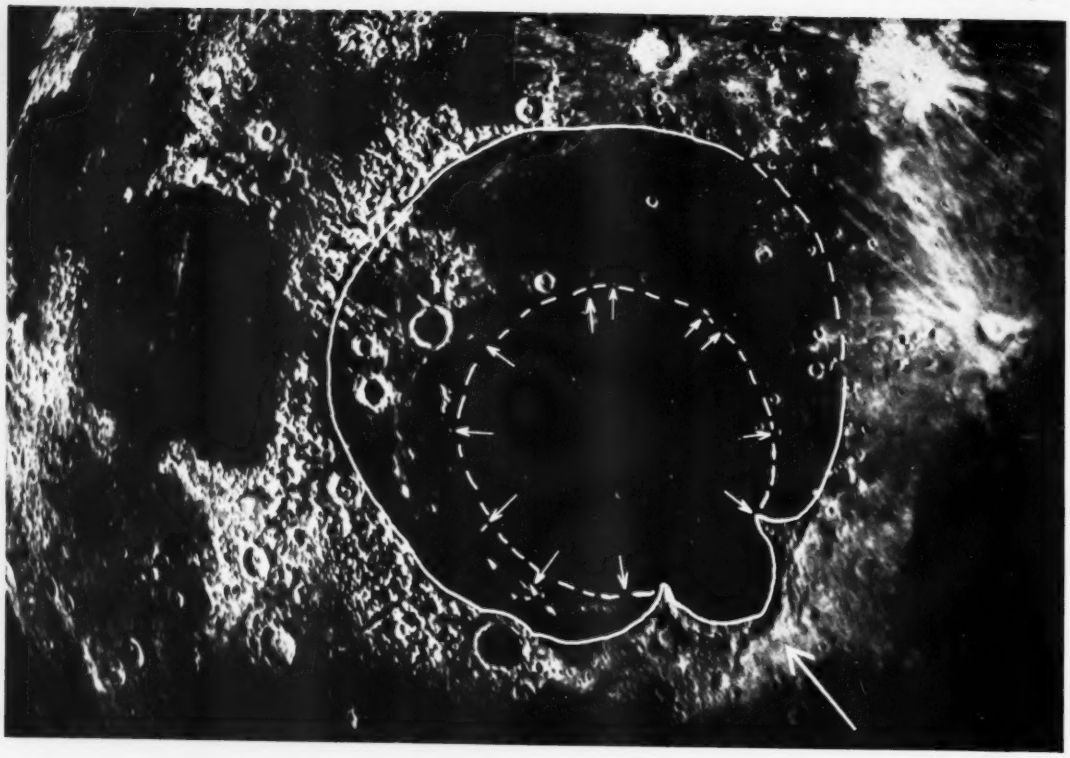
Mer des

Palu

FIGURE 1 – *La Lune. On peut observer sur cette figure les montagnes formées par la projection de matériaux due à la collision de la Mer des Pluies. (Photographie: Observatoire de Leck.)*

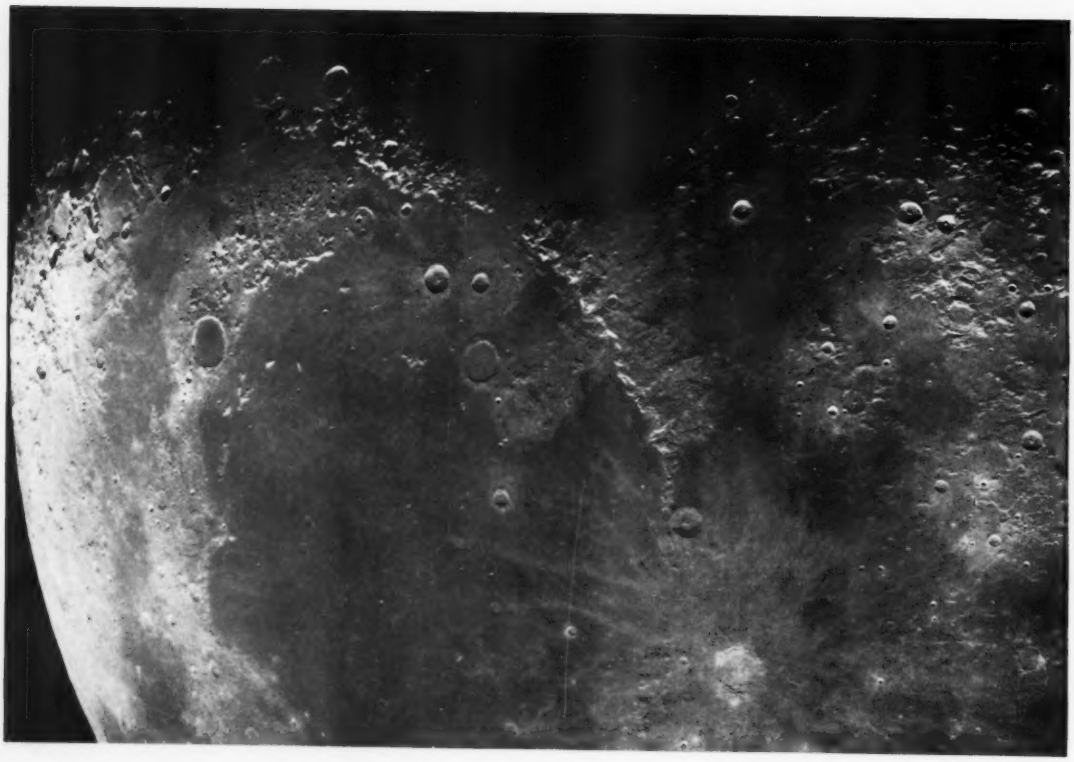
S

W



E

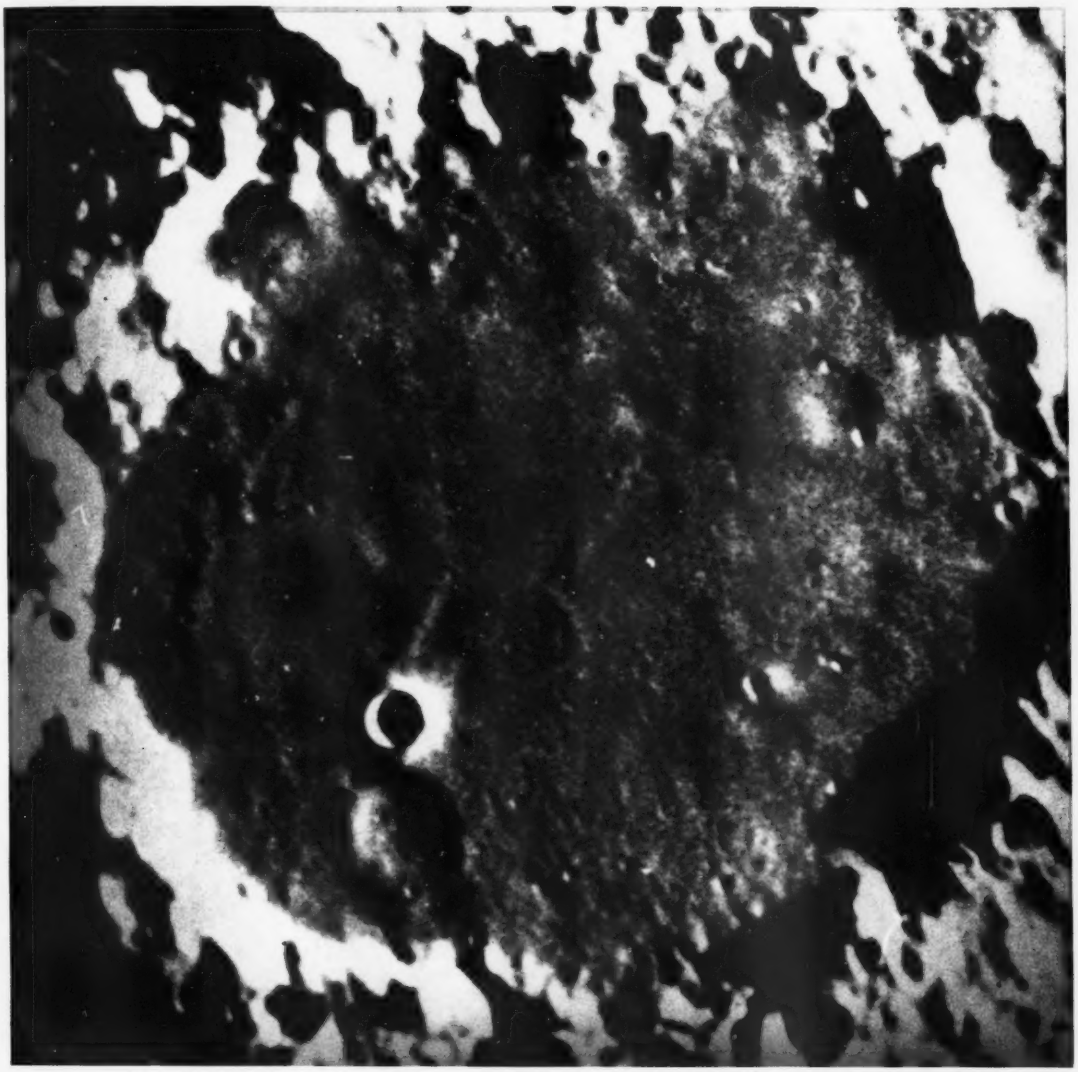
N



S

E

W



E

FIGURE 2 (*ci-contre, en haut*) – *La Mer des Pluies, l'effet de perspective étant éliminé. Le contour de cette mer est délimité par une courbe pleine. La baie en bas à droite est Sinus Iridum. Les flèches indiquent les masses montagneuses situées juste en dehors de la zone d'impact. Trois de ces flèches désignent des montagnes non visibles sur la photographie mais qui pourraient l'être sur d'autres clichés. (Photographie: Université de Chicago.)*

FIGURE 3 (*ci-contre, en bas*) – *Les Mers des Pluies et de la Sérénité montrant les structures montagneuses orientées en rayonnant à partir de la zone d'impact de la Mer des Pluies. Ces structures indiquent que la collision imbrienne s'est produite après celle qui a formé la Mer de la Sérénité. (Clichés: Mont Wilson et Mont Palomar.)*

FIGURE 4 (*ci-dessus*) – *Ptolémée, montrant tous ses petits cratères. Sa surface n'est pas lisse, et la substance grise unie recouvre quelques petits cratères formés avant les matériaux répandus sur le reste de la surface. Les parois ont été marquées par des projectiles arrivant du nord-nord-est et qui faisaient partie des débris provenant de la collision de la Mer des Pluies.*

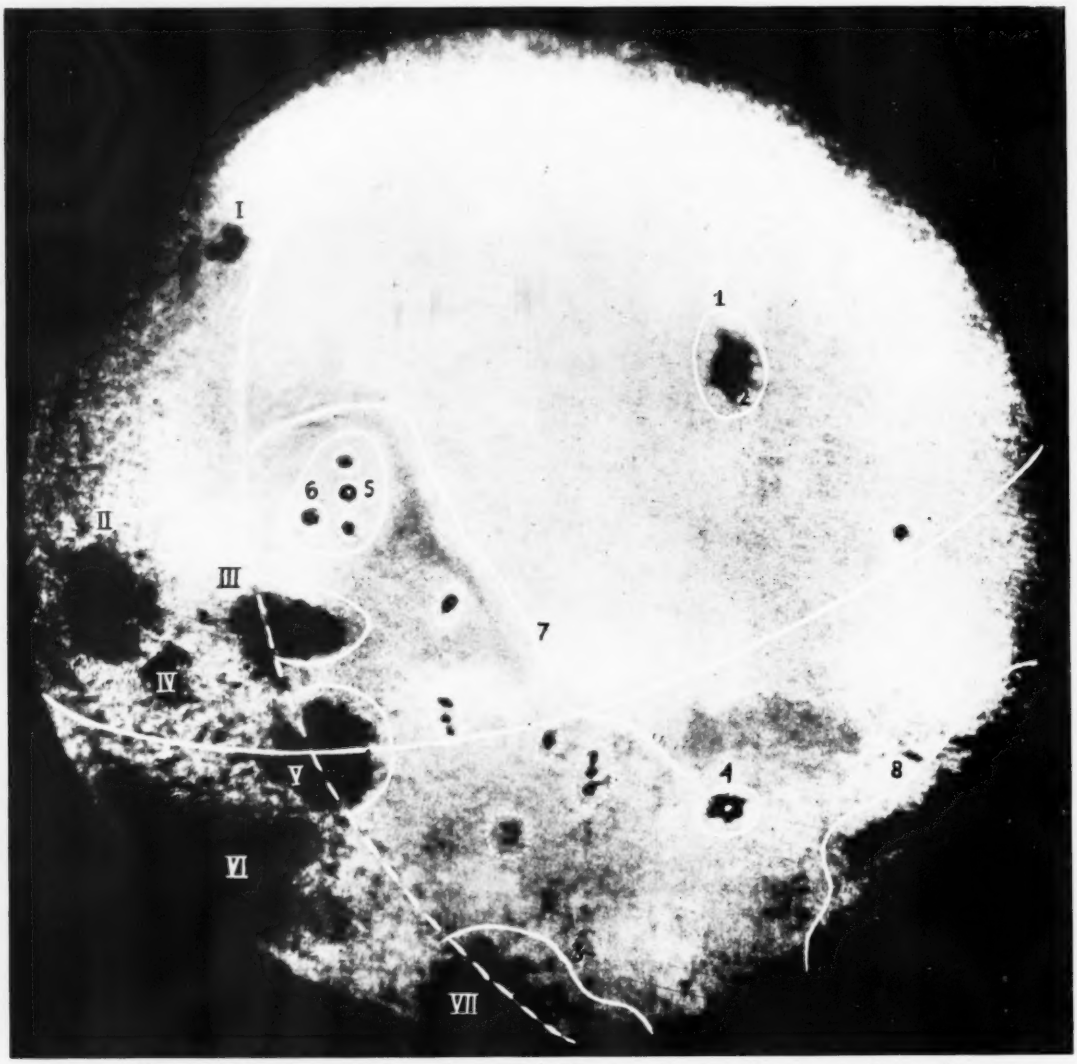


FIGURE 5 – *L'autre côté de la Lune transmis par Lunik III. La ligne pointillée délimite la partie visible de la Lune. Toute la partie située à droite de la ligne pointillée n'est jamais visible de la Terre. Les éléments du relief indiqués dans la partie visible sont:* (1) *la Mer de Humboldt;* (*II*) *la Mer des Crises;* (*III*) *la Mer Régionale;* (*IV*) *la Mer des Vagues;* (*V*) *la Mer de Smith;* (*VI*) *la Mer de la Fertilité;* (*VII*) *la Mer Australe. Les éléments nouvellement découverts sont:* (1) *la Mer de Moscou, large d'environ* 300 *km;* (2) *la Baie des Astronautes;* (3) *la partie jusqu'ici inconnue de la Mer Australe;* (4) *le Cratère de Tsiolkovsky, avec son pic central;* (5) *le Cratère Lomonosov avec son pic central;* (6) *le Cratère Joliot-Curie;* (7) *la Chaîne des Monts Soviétiques;* (8) *la Mer des Rêves.*

au moment de la formation des mers, et nous pouvons ajouter que sa partie extérieure a toujours été froide depuis lors. Il n'y a pas de preuves que les montagnes se soient enfoncées à la surface de la Lune; nous pouvons donc affirmer que les laves, s'il y en a, ne proviennent pas de l'intérieur de la Lune.

Gilbert pensait que la fusion était provoquée par l'énergie développée par les objets rencontrant la Lune. L'énergie de choc par gramme d'un objet se déplaçant à la vitesse d'éloignement de la Lune, (soit 2,38 km par seconde), peut être évaluée à 2 800 joules; il faut environ 2 000 joules par gramme pour amener les silicates au point de fusion et les fondre. Une partie de l'énergie peut se dissiper sous forme de vibrations mais la fusion peut également se produire. Si les vitesses étaient très élevées la volatilisation interviendrait, et une grande explosion se produirait vraisemblablement. Ceci est incompatible avec la disposition asymétrique des crêtes, que nous avons décrite auparavant, mais nous pouvons néanmoins admettre une vitesse légèrement supérieure à la vitesse d'éloignement.

T. Gold [6] a suggéré que les mers étaient formées de couches épaisses de poussière produite par l'érosion due aux radiations lumineuses et particulaires provenant du Soleil. Il pense que ces particules ont pu se déplacer à la surface grâce à l'effet de leurs charges: ce serait par sauts qu'elles se seraient déplacées dans le passé et qu'elles se déplaceraient encore. Il fait remarquer que les nombreux cratères, grands et petits, situés dans les régions sud, sont remplis et entourés d'une substance grise unie qui ne peut logiquement être de la lave, qu'elle vienne de l'intérieur ou provienne de fusion par collision. Un tel raisonnement suggère deux questions. Est-il possible qu'un liquide venant de l'intérieur suinte à tous ces endroits? S'il y avait de si grandes quantités de liquide en-dessous de la surface lunaire, la partie dense et solide ne s'y enfoncerait-elle pas inexorablement jusqu'à être complètement recouverte?

Cependant, l'hypothèse de l'érosion comme origine principale de la poussière n'est pas soutenable, car dans ce cas, la totalité de la surface de la Lune aurait le même aspect, ou tout au moins les régions équatoriales. Or, ceci n'est pas exact pour l'hémisphère tourné vers la Terre, et, ainsi que nous l'avons appris récemment, certainement pas davantage pour l'autre hémisphère. Ces faits rendent impossible l'hypothèse de Gold, mais nous pouvons admettre qu'une certaine érosion de ce genre peut exister et modifier les effets d'autres processus plus importants.

Si la petite planète de la Mer des Pluies, d'un diamètre d'environ 200 km se trouvait répartie sur la surface de la Lune, elle y formerait une couche de 110 m d'épaisseur; si elle contenait 1% de son poids d'eau, cela ferait une quantité d'eau suffisante pour recouvrir la Lune d'une couche atteignant 3,9 m. Cette proportion d'eau est supérieure à celle contenue dans les météorites, à la surface ou à l'intérieur de la Terre. Les autres petites planètes qui ont produit les autres mers circulaires peuvent également y avoir apporté de l'eau. Les petites planètes en question devaient être médiocrement explosives si elles contenaient de l'eau ou d'autres substances volatiles. Toutes ces éventualités nous laissent supposer qu'en plus de toutes les substances qui ont déjà été examinées comme provenant de ces petites planètes, un vaste nuage de poussière a pu répandre une matière finement divisée sur toute la surface de la Lune. Cette substance a dû tomber sur les pentes montagneuses, mais il ne semble pas qu'elle y soit encore actuellement. Des pluies temporaires l'ont-elles éliminée, ou a-t-elle glissé dans les vallées à la suite de séismes comme les mélanges de gaz «fluidifiés» et de solides au cours des processus chimiques industriels? Gilbert remarque que de nombreux accidents de terrain semblent avoir été recouverts d'une matière pâteuse qu'il assimile à de la lave partiellement solidifiée. Peut-être a-t-il raison et il est possible que ce ne soit ni de la poussière ni des blocs.

Dans des cas semblables, nous devons rechercher des preuves objectives. Quiconque regarde la Lune, même avec un petit télescope, est frappé de l'aspect lisse des mers. Cependant, je suis convaincu qu'une simple observation de ce genre ne donne pas de renseignements suffisamment détaillés. Si seulement nous pouvions examiner la structure cristalline des roches de la Lune! La lave, et particulièrement la lave basaltique est un liquide dense, d'une fluidité considérable, qui pourrait renverser ou déformer les parois d'un cratère sur son parcours. Je n'observe aucun fait semblable dans la Mer des Nuées ou l'Océan des Tempêtes. Mes observations ont été faites en grande partie sur des photographies, mais j'ai pu me convaincre que des accidents de cette importance ne pouvaient échapper à l'étude de bonnes photographies. Cependant, la lave doit couler le long des pentes, tandis que la poussière peut tomber n'importe où. La coloration de certaines photographies indique la présence d'une butte

lisse sur la paroi est de Prinz et sur les cirques Hippalus et Weiss. D'autres cas sont moins nets. D'autre part, le cratère Wargentin est plein jusqu'au bord de ce qui semble avoir été un liquide. Gilbert note également que Jules César est rempli jusqu'à la hauteur d'une brèche visible sur la paroi sud, et que Poséidon est rempli de même jusqu'à la hauteur d'une brèche semblable, ce qui laisse à penser que leur contenu a été autrefois fluide.

La Mer de la Tranquillité présente une forme très irrégulière et une couleur noire. On pourrait s'attendre à ce que de la poussière recouvre la Lune d'une coloration uniforme, ou que les variations de couleur soient graduelles. La limite entre la couleur noire de la Mer de la Tranquillité et la teinte grise de la Mer de la Sérénité, à l'ouest de cette dernière, est très nette, et il ne semble pas y avoir de différence de niveau. En réalité, la Mer de la Tranquillité ressemble à une coulée de lave. Certains de ses cratères, Ross par exemple, semblent avoir été déformés. Les fragments de cratères à l'ouest de cette mer semblent avoir été bousculés.

Il est probable que de la lave et de la poussière, tantôt l'une et tantôt l'autre, ont été produites par l'énergie du choc. Une petite planète a pu tomber verticalement et produire la Mer de la Sérénité ainsi qu'un bassin de lave foncée qui se serait écoulée dans la Mer de la Tranquillité. Elle pouvait ne contenir que peu de substances volatiles et ne s'être par conséquent répandue que faiblement sur la Lune. La petite planète de la Mer des Pluies, contenant une proportion appréciable de matière volatile a pu tomber ensuite et répandre largement une poussière grise sur la Lune. Il a pu y avoir une série d'autres événements.

DURÉE DU BOMBARDEMENT

Il est certain qu'il n'existe pas dans les mers de grands cratères postérieurs à la formation de ces mers par collisions; dans le cas de la Mer des Pluies, ceci ne s'applique qu'à la zone d'impact située à l'intérieur du cercle en pointillé de la figure 2. Théophile et Piccolomini, situés l'un près du rivage de la Mer du Nectar et l'autre au sud sur les Monts Altaï, sont certainement postérieurs à la formation de la mer, de même que d'autres cratères proches des rivages d'autres mers. Ces mers circulaires ont dû être fluides, c'est-à-dire soit vraiment liquides, soit formées de poussière fluidifiée par des gaz, à l'époque où le bombardement se termina. On peut avancer un argument semblable à propos de l'absence de masses montagneuses dans la Mer de la Sérénité. Si cette mer avait été formée après la Mer des Pluies, on pourrait s'attendre à trouver les traces de la collision disséminées sur les crêtes radiaires des Monts Haemus situées au sud de la mer et visiblement produites par la collision imbrienne. De même, les montagnes situées dans la région comprise entre les deux mers sont bien conservées et leur disposition rayonnante indique qu'elles font partie intégrante du système de la Mer des Pluies (figure 3). De toutes ces observations, on peut donc conclure que la Mer de la Sérénité est antérieure à la Mer des Pluies. Dans ce cas, l'absence de masse montagneuse, semblable aux Monts Haemus, dans la Mer de la Sérénité indique que celle-ci était fluide à l'époque de la collision imbrienne. La lave a dû se solidifier très rapidement en une masse très rigide. La poussière et les matières sableuses deviennent également rigides mais sans posséder une force suffisante pour supporter longtemps une masse montagneuse. Les petits cratères visibles dans les mers sont certainement dus à des collisions au cours des 4,5 derniers éons, c'est-à-dire plus récentes que les grands événements qui ont produit les mers.

Tous ces raisonnements indiquent que la plupart des caractéristiques de surface de la Lune ont été formées pendant une période de temps très courte. Les calculs effectués sur la vitesse de refroidissement de roches solidifiées nous indiquent qu'il ne faut que quelques dizaines de milliers d'années pour refroidir de tels bassins de lave. Si de l'écume ou de la pierre ponce de faible densité flottait à la surface, la durée augmenterait considérablement. La solidification de la poussière demanderait plus longtemps. Nous en savons trop peu pour avancer un chiffre, mais il suffirait peut-être de moins d'un million d'années, ce qui paraît être un temps étonnamment court. Il est possible que les objets qui ont frappé la Lune en produisant ces accidents importants étaient des satellites du système Terre-Lune. De tels objets pourraient entrer en contact avec la Terre ou la Lune pendant quelques milliers d'années, mais des objets se déplaçant sur des orbites autour du Soleil, lorsqu'ils se trouveraient au voisinage de la Terre, entreraient en contact avec cette dernière pendant quelques dizaines de millions d'années selon les calculs d'Öpik [7]. Des objets se déplaçant sur des orbites autour de la Terre rencontreraient cette dernière à une vitesse égale à la vitesse d'éloignement de la Lune.

Les météorites pierreuses possèdent des structures

extrêmement compliquées et sont en fait composées de substances sableuses agglomérées, dont les matières cristallines ont certainement été formées dans d'autres corps que ceux où nous les trouvons actuellement. Des chocs tels que ceux qui se sont produits sur la Lune ont pu déterminer les cristaux très fragmentés que nous trouvons dans les météorites. Grâce aux trois méthodes de datation radioactives, basées respectivement sur la vitesse de transformation de l'uranium en plomb, du rubidium-87 en strontium-87, et du potassium-40 en argon-40, nous trouvons que l'époque où ils ont été pour la dernière fois portés à haute température remonte à environ 4,5 éons. Il est probable que la Lune, la Terre et en fait le système solaire tout entier se soient formés à cette époque. Toute théorie concernant ces événements doit expliquer les étranges structures physiques et la composition chimique de ces météorites.

Il est assez étonnant que l'âge d'après les rayons cosmiques des météorites pierreuses ne soit que de quelques millions d'années, et ce fait n'est pas expliqué avec certitude. Cependant, des objets se déplaçant dans le voisinage de l'orbite terrestre pourraient demeurer à peu près pendant ce laps de temps dans l'espace avant d'entrer en contact avec la Terre. Ainsi, pendant la plus grande partie des temps géologiques ils ont pu être recouverts d'une couche de matière formant écran, d'environ un mètre d'épaisseur, qui empêchait les rayons cosmiques de produire des variétés spéciales d'atomes, dans le cas qui nous occupe des gaz inertes: hélium-3, néon-21 et argon-38. Puis les météorites ont pu s'échapper de ce milieu sous forme d'objets de petite taille que pouvaient pénétrer les rayons cosmiques. Ces objets devaient mesurer environ 30 à 100 cm. Ensuite ils ont dû voyager dans l'espace interplanétaire pendant quelques dizaines de millions d'années. Ont-ils été arrachés à la surface de la Lune par la tête de certaines comètes? S'il en est ainsi, nous connaissons les substances qui composent certaines portions de la surface lunaire. Cependant, seul le transport sur Terre de quelques morceaux de la surface de la Lune pourra prouver l'exactitude de cette supposition.

On en arrive alors à la conclusion que la surface de la Lune a été modelée en grande partie par d'importantes collisions qui se sont produites il y a 4,5 éons, pendant une courte période de temps, probablement un million d'années. Elle a été bombardée depuis par des objets de moindre importance qui n'ont produit que des cratères plus petits.

L'AUTRE HÉMISPHÈRE DE LA LUNE

Les grands véhicules spatiaux soviétiques nous ont donné un aperçu sur l'hémisphère jusqu'ici inconnu de la Lune. Les renseignements fournis par cette première observation (figure 5) ne nous indiquent que d'une façon vague à quoi ressemble «l'autre côté» et ce que nous pouvons en apprendre. Il possède des mers moins nombreuses que l'hémisphère visible: ce fait est inattendu, mais ne doit pas nous étonner étant donné que la collision imbrienne a provoqué la formation d'un grand nombre de zones grises et unies sur le côte visible, c'est-à-dire sa propre zone et probablement une grande partie de l'Océan des Tempêtes, de la Mer des Nuées et d'autres régions voisines. Si la petite planète était par hasard tombée sur la l'autre côté, l'aspect général des deux hémisphères aurait été en grande partie inversé, car le fait de déplacer la Mer des Pluies et la Mer de la Sérénité produirait certainement cet effet. Le nombre de cratères sur le disque visible est si élevé qu'il n'était pas possible d'imaginer que les vastes régions de l'autre côté n'étaient pas couvertes de cratères semblables. On pouvait donc s'attendre à trouver l'équivalent de la Mer des Pluies sur l'autre hémisphere, mais son absence ne doit pas nous surprendre.

Il n'est guère possible, sur la base des photographies transmises au monde occidental par les savants soviétiques, de tirer d'importantes conclusions concernant la structure et l'histoire de la Lune. Les mers situées en bordure du disque visible s'étendent de l'autre côté, et la Mer de Moscou occupe approximativement le centre du disque opposé. Elle semble entourée d'une zone unie qui pourrait avoir été formée par une coulée de lave provenant d'une zone d'impact ou par la chute de poussière ou de blocs provoquée par la collision. Il est très évident que l'érosion produite par la lumière solaire et les radiations particulaires venant du Soleil n'a eu que peu d'effet sur la formation du relief de la Lune.

AUTRES ACCIDENTS DE LA SURFACE LUNAIRE

Au cours des années, de nombreux détails de la surface lunaire ont été enregistrés avec une grande précision par les observateurs, et de nouveaux détails s'y ajoutent grâce à de récentes observations. Les raies partant de certains cratères traversent à la fois des régions de montagnes et des zones affaissées. Ces raies ont sans aucun doute été formées par les particules projetées sur la surface à la suite des collisions explosives qui ont

produit les cratères. Dans le vide poussé qui existe à la surface de la Lune, chaque particule de poussière se déplacerait sur une orbite elliptique et, si des particules provenant d'un cratère se déplaçaient sur des orbites semblables mais non identiques, il serait possible qu'elles tombent en formant le dessin de ces raies. Si de telles particules se déplaçaient à une vitesse égale ou supérieure à 1,7 km à la seconde, suivant une direction initiale parallèle à la surface de la Lune, elles en feraient le tour complètement et se retrouveraient à leur point de départ en un peu plus de 108 minutes. Pendant ce temps, la Lune aurait tourné vers l'ouest et les particules, manquant le cratère de départ, tomberaient sur son rebord est. Deux raies de Tycho semblent avoir été formées exactement de cette manière. De même, on a récemment suggéré que si des particules étaient projetées verticalement à une grande hauteur et retombaient ensuite à la surface après environ le même laps de temps, les mêmes déplacements pourraient être observés. Les raies de Copernic sont très irrégulières et l'on a donné de ce fait diverses explications. Il est possible qu'une légère atmosphère ait existé à l'époque de leur formation. De nombreux cratères bien formés ne possèdent pas de raies; il se peut qu'ils soient plus anciens et que les raies aient été peu à peu effacées par la chute de micrométéorites, ou encore que la Lune ait possédé une atmosphère temporaire à l'époque de leur formation. Proclus présente des raies qui se dirigent de tous côtés excepté vers le sud-est. Fielder a mentionné l'existence d'une crête qui a pu intercepter les particules. Si cette interprétation est correcte, nous pouvons en conclure que la collision a projeté ces particules horizontalement. Des effets chimiques, tels que ceux de gaz s'échappant de dessous la surface, ont pu contribuer dans une large mesure à l'asymétrie des raies.

Kozyrev [8] a signalé qu'en novembre 1958, des gaz se sont échappés de la région du pic central d'Alphonse et il a publié un spectre de ces gaz. Il affirme que le spectre original indique la présence des bandes C_2, qui sont caractéristiques du spectre des comètes. On n'a remarqué aucune modification dans l'aspect du pic central, de sorte que ce phénomène ne peut être assimilé à une éruption volcanique typique telle qu'il s'en produit sur la Terre. Il est possible qu'il s'agisse d'un jaillissement d'eau venant de l'intérieur. On peut observer de nombreuses petites zones noires en divers endroits de la Lune, dont en particulier quelques-unes sur Alphonse. Elles ont souvent de petits cratères en leur centre, et leur aspect peut faire supposer que des sortes d'éruptions gazeuses se sont produites. Si C_2, ou plutôt les composés que la lumière solaire a dissociés pour le produire, se sont échappés de la Lune, on devrait observer justement un noircissement de la surface dû au graphite.

Les grands plissements sinueux, d'une centaine de mètres de haut, larges de plusieurs kilomètres et longs de plusieurs centaines de kilomètres, situés à la surface des mers, posent un problème fort embarrassant. Kuiper [9] a signalé récemment des fissures le long de leurs sommets, ainsi qu'une substance blanche visible dans certaines d'entre elles. Il se peut que cette substance blanche soit une croûte de sel déposée par des écoulements d'eau. Salisbury [10] a proposé une hypothèse intéressante concernant certaines buttes arrondies, observées pour la premiere fois il y a de nombreuses années. Il suggère que dans ces régions, de l'olivine a pu se trouver hydratée et par suite foisonner et soulever le sol. Il est possible également que les plissements des mers surmontent des fissures par lesquelles l'eau jaillit de l'intérieur. Ces plissements ressemblent beaucoup à des dunes de sable ou à certains éboulements. Leur origine, quoique difficile à préciser est certainement superficielle, et la solution de ce problème n'apporterait que peu de chose à une compréhension fondamentale de la Lune.

De longues fissures apparaissent en diverses régions de la Lune, et par endroits des cratères sont répartis le long de ces fissures. Cette curieuse répartition indique que ces cratères n'ont certainement pas été causés par des collisions. Ils ont dû être produits par des éruptions de gaz venant de l'intérieur, et ont en effet été longtemps expliqués de cette manière. Un exemple frappant peut être observé juste à l'ouest de Copernic, mais d'autres existent en particulier dans les régions proches du centre du disque lunaire. Ces fissures sont probablement dues à un phénomène d'ordre général, comme par exemple une expansion progressive de la Lune sous l'influence de températures croissantes. Ce même phénomène peut également avoir provoqué les éruptions de gaz.

Les grandes vallées n'ont pas encore été examinées. La Vallée Alpine est la plus importante d'entre elles et mesure environ 130 km de long. Elle est dirigée vers la zone de la grande collision de la Mer des Pluies, et l'on pense qu'elle a été creusée dans la surface de la Lune par un objet de fer-nickel. On a suggéré également

qu'elle est peut-être due à une fissure dans la surface de la Lune. Elle est certainement beaucoup plus droite que les autres accidents de relief que l'on s'accorde à considérer comme des fissures. Les Vallées de Rheita et Borda au sud-ouest sont encore plus longues. Toutes sont remarquablement droites; s'il s'agit de fissures, et si elles ont été creusées par des objets de fer-nickel, il est évident que ceux-ci devaient être de dimensions considérables et se déplacer à une grande vitesse.

QUELQUES PROBLÈMES POSÉS PAR LES RECHERCHES CONCERNANT LA LUNE

Le travail de recherche le plus pressant doit être sans aucun doute de déterminer la composition et les caractères physiques des mers lunaires. De simples observations sur quelques fragments de substances, par des méthodes permettant d'étudier les structures cristallines, répondraient clairement à certaines des questions que pose cet article. De telles observations ne peuvent se faire à une distance de 384 000 km, et le fait d'obtenir de meilleures photographies qui montreraient de plus petits cratères ne donnerait que peu de renseignements supplémentaires. La couleur des roches est déterminée par leur composition et par l'action des radiations ultraviolettes et particulaires dans un vide presque parfait au cours des 4,5 derniers éons.

Les méthodes de mesure de la radioactivité peuvent être employées dans un véhicule de l'espace se déplaçant à quelques centaines de kilomètres de la surface. Si la radioactivité est semblable à celle de la Terre, c'est que les processus de fusion ont dû produire une série de différenciations de la surface lunaire, tandis que si la concentration des éléments radioactifs est faible, nous pouvons conclure que la composition est semblable à celle des météorites, sans grande différenciation. Dans le premier cas, cela signifie que la Lune a subi de hautes températures, dans le second cas, qu'elle s'est formée à basses températures.

La densité de la Lune est inférieure à celle de la Terre, même si l'on tient compte de la compression due aux énormes pressions internes de la Terre. Ceci signifie que la Lune contient moins de fer que la Terre, ou qu'elle contient plus de substances de densité plus faible, très probablement de l'eau. Si elle contient plus d'eau, celle-ci doit alors être concentrée dans les roches de surface sous forme d'eau de cristallisation, la proportion nécessaire étant importante, vraisemblablement 10% ou plus. Ceci pourrait être facilement déterminé si l'on pouvait effectuer de simples analyses chimiques. Si l'on admet que la faible densité de la Lune est due au manque de fer, cela indique qu'elle a une composition semblable à celle du Soleil, et que la Terre ainsi que d'autres planètes ont acquis des quantités accrues de fer pendant leur formation. Cette question est en relation avec deux importants problèmes, l'origine des éléments et l'origine du système solaire.

La rigidité peut être déterminée à la surface grâce à des sismographes et à des gravimètres, et de tels appareils peuvent être envoyés et placés sur la Lune. De telles mesures nous apprendront si la Lune est, à l'heure actuelle, en fusion dans sa partie profonde, et pourront fournir de nombreux renseignements sur sa température interne.

L'âge de la surface de la Lune, déterminé par les méthodes radioactives, nous indiquera avec précision l'époque à laquelle se sont produits les événements décrits. Les matériaux de surface, en particulier ceux des pôles qui sont demeurés froids au cours des temps géologiques, nous renseigneront sur l'intensité des rayons cosmiques pendant la durée du système solaire. Pour ces études, il est nécessaire d'extraire les gaz inertes des matériaux de surface. Connaissant la rapidité avec laquelle ils sont produits par les rayons cosmiques, nous pouvons calculer le temps d'exposition, en supposant constante l'intensité des rayons.

REMERCIEMENTS

Nous sommes heureux de remercier le Directeur de *Sky and Telescope* pour l'amabilité dont il a fait preuve en nous autorisant à utiliser les données et les illustrations publiées par le Professeur H. C. Urey dans ce périodique en 1956.

RÉFÉRENCES

[1] GILBERT, G. K. *Bull. phil. Soc. Wash.*, **12**, 24, 1893.
[2] BALDWIN, R. B. «The Face of the Moon», University of Chicago Press, Chicago. 1949.
[3] UREY, H. C. «Boundary Conditions for the Origin of the Solar System», dans «Progress in Physics and Chemistry of the Earth», Vol. II, Pergamon Press, Londres. 1957.
[4] KELVIN, Lord. *Trans. roy Soc. Edin.*, **23**, 157, 1862.
[5] DIETZ, R. S. *J. Geol.*, **54**, 359, 1946.
[6] GOLD, T. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **115**, 585, 1955.
[7] ÖPIK, E. J. *Contr. Armagh Observ.*, No. 6, 186, 1951.
[8] KOZYREV, N. *Sky and Telesc.*, **18**, 184, 1959.
[9] KUIPER, G. P. «The Exploration of the Moon» dans «Vistas in Astronautics», Vol. II, p. 286. Pergamon Press, Londres. 1959.
[10] SALISBURY, J. W. (Sous presse.)

Distribution des matériaux cellulaires au cours de la méiose

par A. R. LONGWELL et M. MOTA

Pour certains types de travaux cytologiques la microscopie interférentielle présente des avantages importants: non seulement elle rend visibles des parties de la cellule que l'on ne peut distinguer par coloration, mais elle permet la mesure des densités relatives des différentes structures cellulaires. Cet article relate un examen détaillé, fait au microscope interférentiel, de la distribution des matériaux dans la cellule pendant la division méiotique.

L'introduction relativement récente du microscope interférentiel permet une nouvelle étude de certains problèmes biologiques, en rendant possible l'étude de la distribution de la matière sèche dans la cellule au cours de la division.

La connaissance de la disposition des matériaux au cours de la division cellulaire aide efficacement à comprendre l'origine et la formation du fuseau mitotique, qui joue un rôle important dans la séparation des chromosomes et leur mouvement vers les pôles de la cellule. L'étude de ce fuseau est difficile, car on ne peut le colorer avec aucun des colorants usuels et, de plus, dans les conditions microscopiques habituelles, il est difficile de voir sa forme, et même, parfois, s'il est ou non présent. Cependant D. Mazia et K. Dan ont magnifiquement démontré l'existence du fuseau achromatique, en tant qu'entité cellulaire séparée, et nous ont appris quelque chose de sa composition chimique [1].

On a remarqué depuis longtemps la nature fibreuse du fuseau et W. J. Schmidt a montré, au microscope polarisant, que le fuseau manifeste une biréfringence positive le long de son axe longitudinal et qu'il doit donc être constitué de molécules orientées [2]. Ces faits sont confirmés par S. Inoué [3]. Parmi les outils les plus récents utilisés en cytologie, le microscope à contraste de phase n'a fourni que peu d'informations nouvelles sur le fuseau. Il a pourtant démontré, spécialement sur les cellules vivantes, la forme de l'espace occupé par le fuseau, en montrant les mitochondries disposées autour de lui. J. M. Mitchison, M. M. Swann et R. R. Rustad ont appliqué le microscope interférentiel à l'étude du fuseau [4, 5].

De petites différences de poids sec, entre les différentes parties de la cellule, se traduisent sous le microscope interférentiel, par des différences de couleur, si l'on utilise la lumière blanche, et par des différences d'intensité, en lumière monochromatique. C'est la conséquence de la relation entre les concentrations des corps solides dans la cellule et les modifications de phase subies par la lumière qui passe à travers l'objet [6]. Le microscope interférentiel à deux faisceaux traduit des différences de phase en différences d'intensité ou de couleur, produites par un effet d'interférence entre deux rayons, dont l'un n'a pas traversé l'objet, alors que l'autre s'est trouvé modifié par lui au passage. On peut faire varier la différence de phase entre les deux rayons et rendre ainsi possible la mesure de la différence de chemin optique, entre l'objet et le milieu de montage. La couleur ou l'intensité d'un point de la cellule, vu au microscope interférentiel, dépend de la différence entre le produit de l'épaisseur de cette région par son indice de réfraction, d'une part, et par celui du milieu de montage, d'autre part. On peut modifier beaucoup l'aspect de la cellule et les contrastes à son intérieur en faisant varier l'indice de réfraction du milieu, de manière à montrer le maximum ou le minimum de détail, soit dans le noyau, soit dans le cytoplasme. Ceci est dû au fait que le rayon de référence passant à l'extérieur de l'objet est modifié quand l'indice de réfraction du milieu change. En changeant graduellement l'indice de réfraction on peut obtenir une excellente différenciation des structures internes.

ÉTUDE DE LA MÉIOSE

On a étudié au microscope interférentiel la méiose dans les microsporocytes du blé (*Triticum aestivum*), du maïs (*Zea mays*), de *Tradescantia paludosa* et dans les spermatocytes de la sauterelle (*Melanoplus differentialis*).

La méiose est une modification de la mitose, division normale de la cellule. Elle conduit à la

FIGURES 1–6 – *Microsporocytes de* Zea mays *dans l'acide acétique à* 5%.

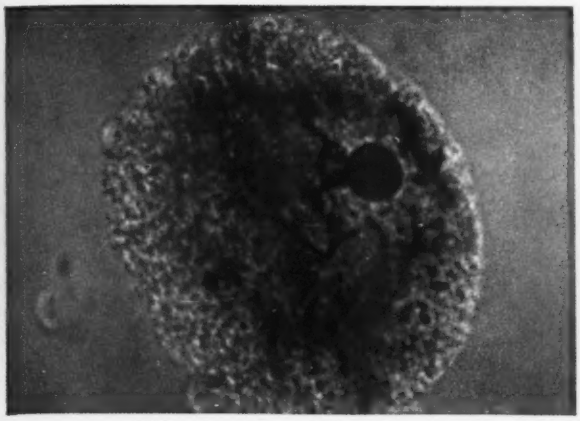


FIGURE 1 – *Milieu du stade pachytène. Le noyau et les chromosomes apparaissent en bleu sur le fond jaune du cytoplasme. La sphère nucléaire est bleue elle aussi.* (*Toutes les photomicrographies* × *environ* 1650–2000)

FIGURE 2 – *Prométaphase I. Les chromosomes apparaissent en vert sur le fond bleu du cytoplasme. Ils se présentent en amas dispersés différenciés du reste du cytoplasme par leur plus grande densité.*

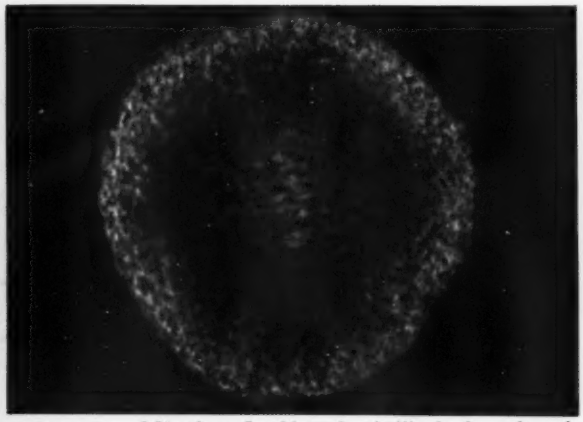


FIGURE 3 – *Métaphase I. Noter la similitude de couleur des fibres du fuseau et des chromosomes. Ces régions ayant approximativement les mêmes propriétés optiques apparaissent toutes deux en vert. Les fibres du fuseau paraissent doubles.*

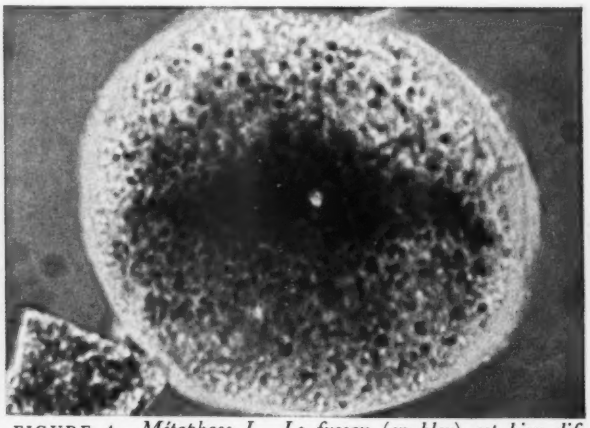


FIGURE 4 – *Métaphase I. Le fuseau* (*en bleu*) *est bien différencié du cytoplasme* (*en blanc*).

FIGURE 5 – *Anaphase I. Les régions du fuseau et des chromosomes sont de même couleur et ont donc des densités à peu près égales. Le fuseau est clairement différencié du reste de la cellule et paraît avoir deux pôles, l'un superposé à l'autre.*

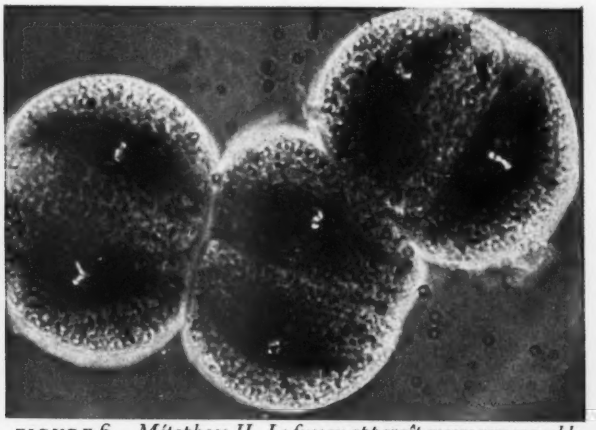


FIGURE 6 – *Métaphase II. Le fuseau apparaît encore remarquablement différencié des chromosomes et du cytoplasme et sa nature fibreuse est évidente.*

FIGURES 7–18 – *Microsporocytes de* Triticum aestivum *dans l'acide acétique à* 5%.

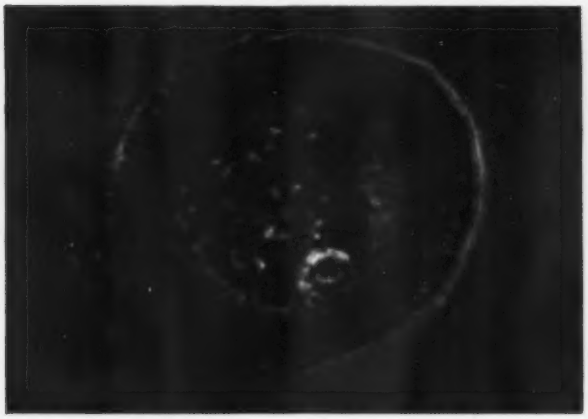


FIGURE 7 – *Début de la prophase I. La région nucléolaire apparaît en jaune.*

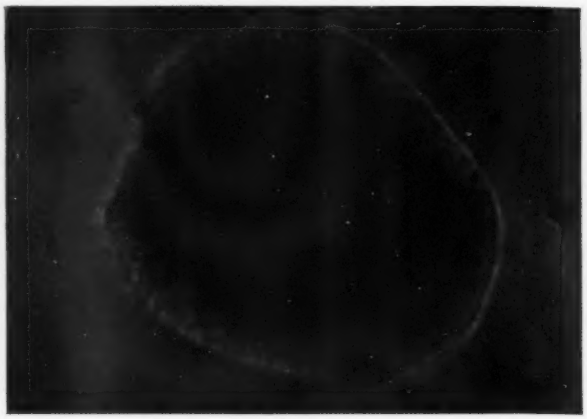


FIGURE 8 – *Milieu de la prophase I. La sphère nucléaire plus dense apparaît en noir sur le fond vert du cytoplasme.*

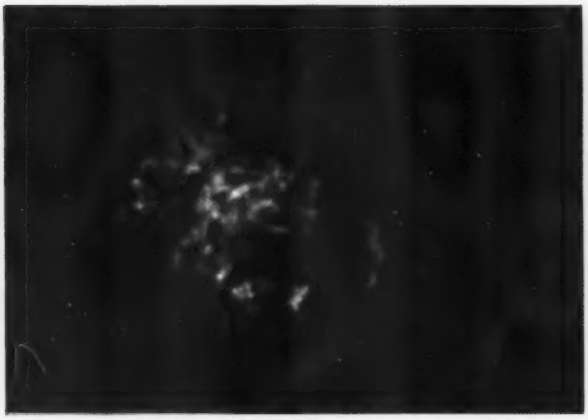


FIGURE 9 – *Fin du stade pachytène. La sphère nucléaire est remarquablement différenciée du reste du cytoplasme.*

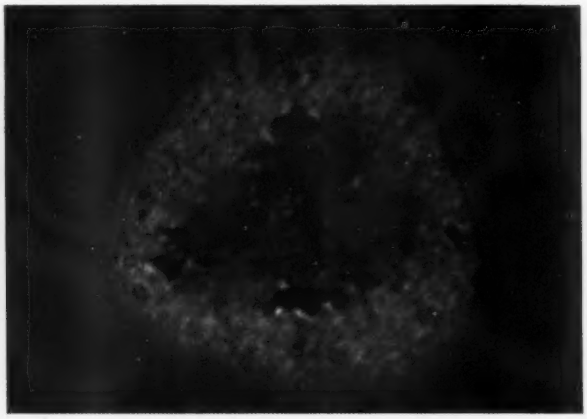


FIGURE 10 – *Métaphase I. Les chromosomes apparaissent presque aussi bien que sur une préparation colorée au carmin acétique.*

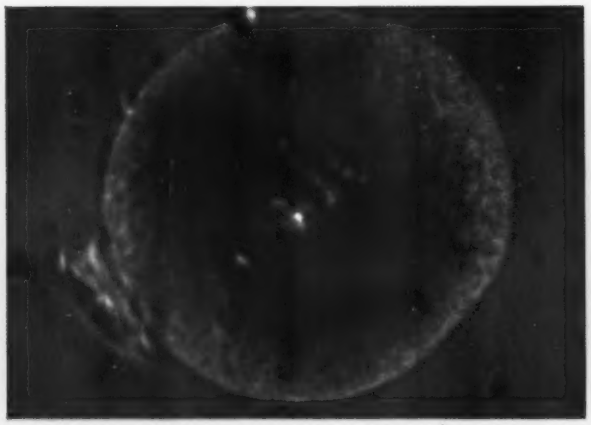


FIGURE 11 – *Métaphase I. La région du fuseau est différenciée du reste de la cellule et vue en noir dans le cytoplasme bleu clair.*

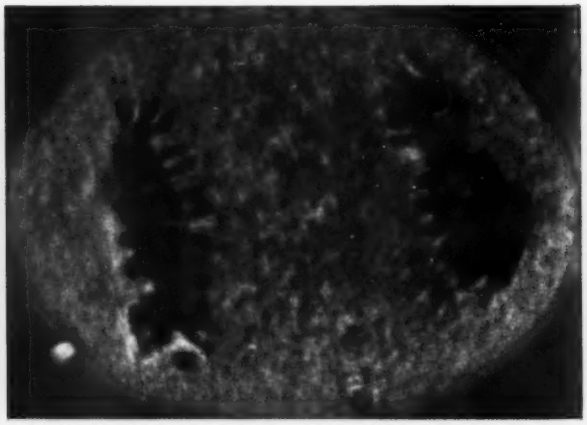


FIGURE 12 – *Début de la télophase I. Les chromosomes apparaissent presque comme dans une préparation colorée.*

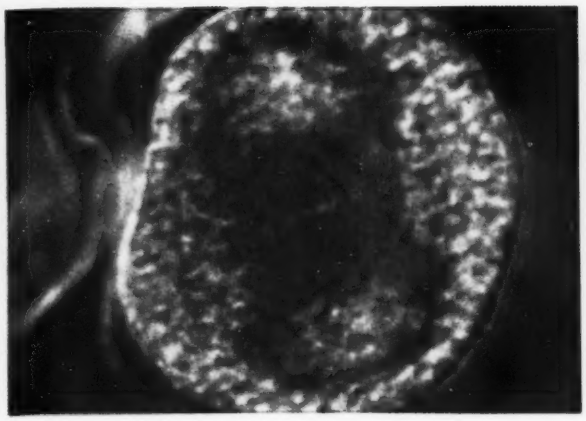


FIGURE 13 – *Télophase I. La région occupée auparavant par le fuseau est bien différenciée du reste du cytoplasme, étant beaucoup plus dense.*

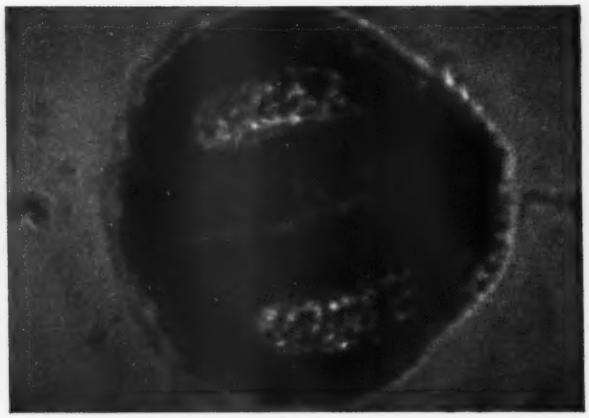


FIGURE 14 – *Télophase I. Les noyaux apparaissent presque comme s'ils étaient colorés.*

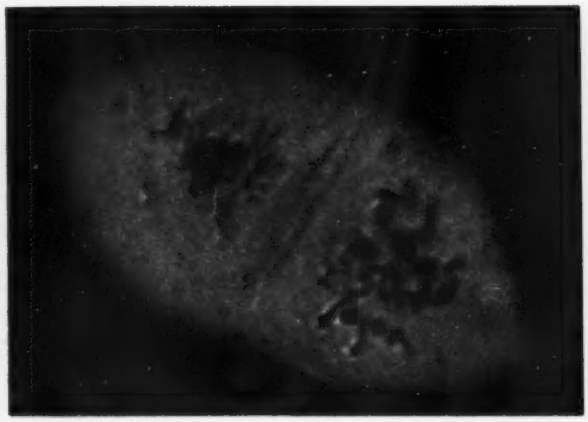


FIGURE 15 – *Prométaphase II. Les chromosomes apparaissent en sombre sur le cytoplasme vert clair.*

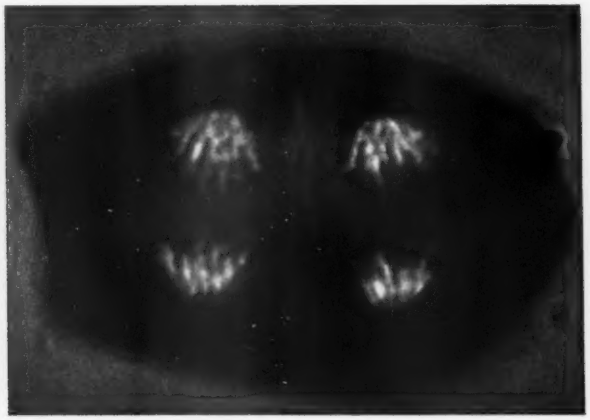


FIGURE 16 – *Pour la description voir la figure* 17.

FIGURES 16 et 17 – *Début de la télophase II. Les chromosomes sont remarquablement différenciés du reste de la cellule.*

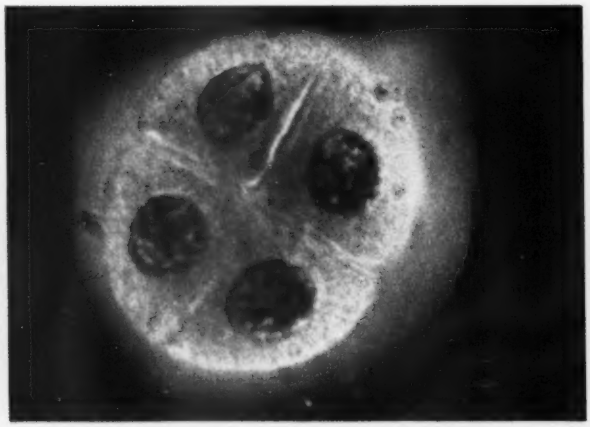


FIGURE 18 – *Quartette de microspores. Les noyaux sont très distincts du reste de la cellule.*

FIGURES 19–21 – *Spermatocytes de* Melanoplus differentialis *dans une solution saline physiologique.*

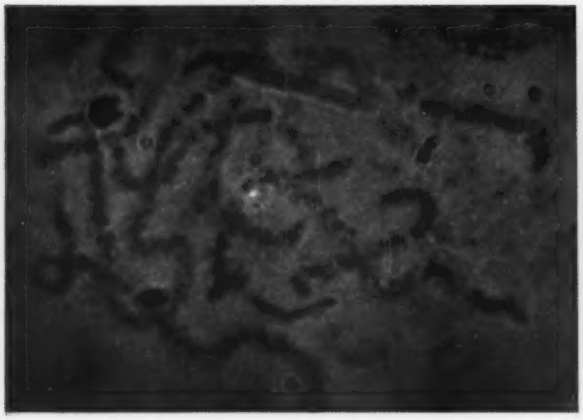


FIGURE 19 – *Pachytène. On voit les chromosomes sexuels hétérochromatiques, condensés et compacts. Les régions des chromosomes apparaissent claires ou sombres suivant leur densité ou leur masse.*

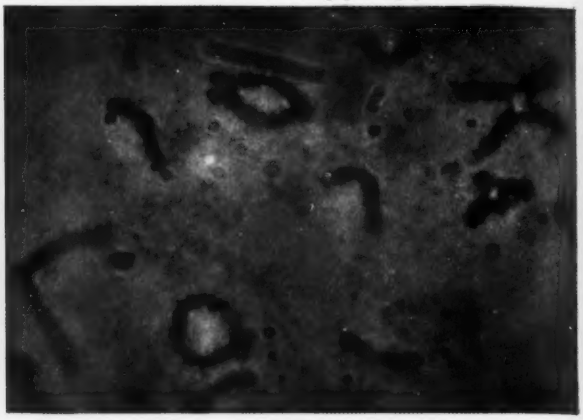


FIGURE 20 – *Diplotène. Certains bivalents montrent l'enjambement, échange de parties entre deux chromatides tandis que les deux autres chromatides restent intactes.*

FIGURE 21 – *Métaphase I.*

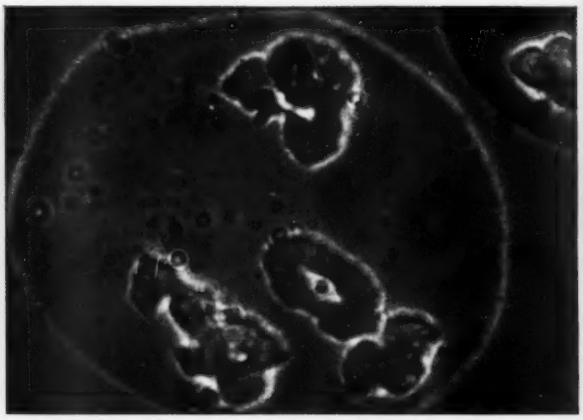


FIGURE 22 – *Microsporocyte de* Tradescantia paludosa *à la prométaphase I. La spiralisation majeure des chromosomes est évidente.*

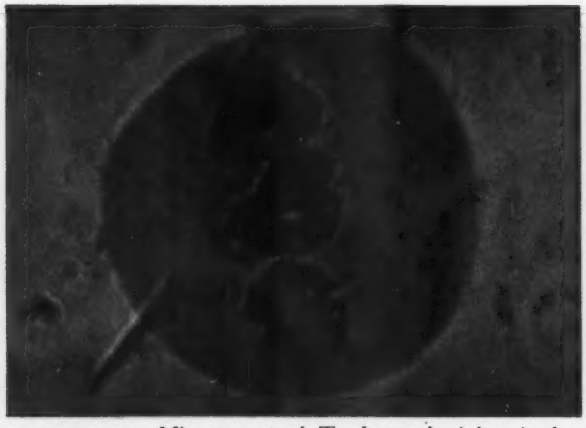


FIGURE 23 – *Microsporocyte de* Tradescantia *à la métaphase I. La figure montre clairement la spiralisation majeure des chromosomes.*

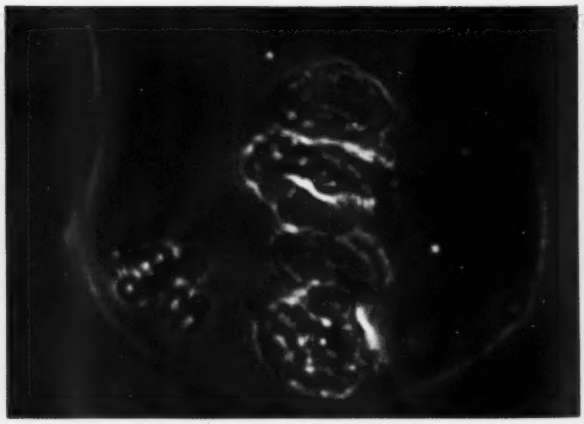


FIGURE 24 – *Microsporocyte de* Tradescantia *à la métaphase I. On voit les régions d'attache sur le fuseau comme des projections des chromosomes qui ont la même couleur que les spires chromosomiques.*

formation de gamètes mâles et femelles qui présentent un nombre de chromosomes moitié de celui des cellules du reste de l'organisme. On peut diviser la première phase de la méiose en cinq stades: leptotène, zygotène, pachytène, diplotène et diacinèse.

Au leptotène, les chromosomes apparaissent comme de fins filaments et on ne peut les individualiser. Ces filaments sont simples et ressemblent à des chapelets à cause de la présence de granules denses: les chromomères. Au début et au milieu de la prophase, on voit dans le noyau (figure 7) un ou plusieurs corpuscules denses: les nucléoles. Au zygotène (figure 8), les deux chromosomes correspondants de chaque parent (chromosomes homologues) s'apparient sur toute leur longueur, formant les bivalents. Au pachytène (figures 1, 9, 19) les chromosomes deviennent plus courts et plus épais et les deux chromosomes de chaque bivalent se tordent l'un sur l'autre. Environ au milieu de ce stade, il se produit un clivage longitudinal de chaque homologue, perpendiculaire au plan d'appariement; les deux chromosomes homologues de chaque bivalent comportent maintenant deux chromatides, le bivalent entier en comportant quatre. Des ruptures transversales peuvent se produire au même niveau, dans deux chromatides homologues, et il peut y avoir des échanges de chromatides, suivis de fusion. Le phénomène est appelé «crossing-over» (enjambement), et provoque l'échange de gènes (figure 20). Au stade suivant (diplotène), les chromosomes appariés commencent à se repousser l'un l'autre et à se séparer (figure 20), bien que les chromosomes homologues restent unis par leurs points d'échange. Les chromosomes se contractent alors beaucoup, le nucléole commence à disparaître et la membrane nucléaire s'efface (diacinèse). On appelle souvent prométaphase cette période qui précède immédiatement la formation du fuseau (figure 2).

Ensuite il y a formation du fuseau et les bivalents se déplacent vers le centre de la cellule. Les régions d'attache au fuseau (kinétochores) des deux chromosomes de chaque bivalent se rendent à l'équateur du fuseau (métaphase, figures 3, 4). A l'anaphase, les deux kinétochores de chaque bivalent qui restent non divisés, s'éloignent l'un de l'autre en se rendant aux pôles opposés de la cellule, chaque kinétochore prenant une moitié du bivalent avec lui (figure 5). Les chromosomes atteignent les pôles du fuseau et se déspiralisent (télophase), et deux nouveaux noyaux puis deux cellules filles se forment.

Après une interphase, ces noyaux atteignent la dernière partie de la méiose (deuxième division). Cette division sépare les deux chromatides de chaque chromosome. Les chromatides identiques par leur formation, diffèrent par leurs segments échangés lors de l'enjambement. De la télophase on passe à la prophase et les chromosomes se contractent, s'épaississent et deviennent plus distincts: ce sont des paires de filaments, maintenus ensemble par un kinétochore indivis. Un fuseau apparaît dans chaque nouvelle cellule et les chromosomes se disposent en plaque équatoriale. Les kinétochores se divisent alors et les chromosomes se dirigent vers les pôles. A la seconde télophase, il y a quatre noyaux, chacun avec le nombre haploïde de chromosomes, qui peuvent se séparer les uns des autres par de nouvelles parois cellulaires (figure 18).

Des études au microscope interférentiel ont montré que, chez le blé et le maïs, à partir de la moitié jusqu'à la fin de la prophase 1, le noyau est entouré d'une zone différenciée sphérique. Cette zone décrite par Wassermann en 1929 [7] est peut-être semblable à la zone claire décrite par Bajer [8] dans les cellules vivantes de l'endosperme; on peut la voir dans les figures 1, 8 et 9. Cette région semble s'accroître jusqu'au moment de sa destruction, à la prophase terminale ou à la prométaphase, ce dernier stade étant celui qui précède immédiatement la métaphase, définie par la disposition des chromosomes en plaque équatoriale. La sphère paraît s'approcher de la membrane nucléaire (figures 8, 9) pendant la prophase. Il n'y a pas de gradient de concentration entre la membrane nucléaire et cette région comme on pourrait s'y attendre, si elle était constituée de matériaux venus du noyau. Il est possible qu'elle soit d'origine cytoplasmique et qu'elle s'approche jusqu'à toucher la membrane nucléaire, à la fin de la prophase, ce fait résultant de la croissance de la sphère ou du noyau, ou même d'un mouvement possible de cette région vers le noyau. A la prométaphase 1 du blé, les chromosomes se trouvent dans une partie de la cellule différenciée du reste du cytoplasme et l'on voit seulement des restes de la sphère, qui, aux stades précédents, entourait le noyau (figure 2). Il est possible que le matériel de la sphère donne naissance à cette masse, ou du moins y apporte une contribution substantielle et que le fuseau puisse alors se produire à partir de cette région. On ne voit pas de fibres dans cette région du cytoplasme à la prométaphase, et Wassermann [7] a le premier suggéré que la région sphérique contribuait à la formation du fuseau.

Quand les chromosomes se disposent en plaque équatoriale, le fuseau, comme on le voit chez le blé ou le maïs, paraît constitué de fibres doubles (figure 3), certaines étant attachées aux chromosomes (figures 3–6, 11). Chez le maïs, où les chromosomes sont relativement petits, comparés à la taille de la cellule, le fuseau, à la fin de la métaphase ou vers le milieu de l'anaphase, semble montrer deux pôles de chaque côté du plan équatorial, comme si deux fuseaux l'un plus court, l'autre plus long étaient superposés (figure 5); les chromosomes paraissent atteindre seulement le pôle le plus proche et ne pas se mouvoir vers le plus éloigné. A la fin de l'anaphase, la région située entre les deux groupes de chromosomes fils montre aussi des fibres. A partir de ce stade, jusqu'à la fin de la télophase, la région entre les deux noyaux fils commence à se différencier du reste du cytoplasme (figures 13, 14), aussi bien que de la région située en arrière des noyaux de télophase qui correspond au pôle le plus distant du fuseau (figure 14). A l'équateur, une mince bande se développe plus tard et forme la nouvelle paroi cellulaire (figures 16, 18).

Il est possible, en augmentant l'indice de réfraction du milieu, jusqu'à ce qu'il approche celui du cytoplasme, de rendre celui-ci pratiquement invisible; les chromosomes sont alors beaucoup mieux définis. Chez *Tradescantia* (figures 22–24), on voit bien la spirale majeure des chromosomes. Les kinétochores, points d'attache des fibres du fuseau sur les chromosomes, sont bien définis et tout à fait visibles et ils ont les mêmes propriétés optiques que les chromosomes spiralisés.

Le stade diplotène est la période où les chromosomes homologues commencent à se repousser l'un l'autre et à se séparer. On voit si clairement les quatre chromatides dans les spermatocytes de sauterelle que l'on peut analyser l'enjambement au moins aussi bien que sur des préparations colorées (figure 20). L'avantage de cette technique est que l'on peut déterminer les densités des différentes parties: celles-ci apparaissent d'une couleur différente de celle du milieu avoisinant, ce qui rend la différenciation plus aisée. Les chromosomes au stade pachytène, stade auquel il y a appariement longitudinal complet des chromosomes homologues, ainsi que ceux de la métaphase, sont aussi nets que sur des préparations colorées (figures 19 et 21). Les chromosomes de *Triticum* sont identiques à ceux que l'on voit dans les préparations colorées, montrant qu'aucun artefact important n'est introduit par la coloration. De même, le nucléole, corps réfringent sphérique dans le noyau, se distingue du reste de la cellule (figures 1, 7). On peut faire disparaître la région du fuseau en ajustant l'analyseur, de manière à voir plus nettement les chromosomes (figures 10, 12, 15 et 16).

Les différences de chemin optique de la lumière qui a traversé des régions différentes, mises en évidence par des différences d'intensité, ont fait l'objet de mesures chez *Zea mays*, en utilisant une lumière verte monochromatique (5 460 Å). Les mesures ont été faites sur des montages dans l'eau distillée et dans l'acide acétique à 15%. Les régions mesurées étaient celles occupées par le cytoplasme, les chromosomes, le suc nucléaire, le nucléole, la sphère entourant les noyaux de prophase, la région du cytoplasme où se trouvent les chromosomes à la prométaphase, et le fuseau à la métaphase, à l'anaphase et à la télophase. Bien que les valeurs absolues des densités de ces régions varient considérablement d'une cellule à l'autre, leur ordre relatif est le même dans toutes les cellules.

Le retard de chemin optique est d'environ une moitié à deux longueurs d'onde, quand on utilise l'eau distillée comme milieu de montage. Le suc nucléaire est la seule région de moindre masse par unité de volume que le cytoplasme, en accord avec la découverte de Ross [9] que cette région possède le plus bas indice de réfraction. La sphère qui entoure le noyau à la prophase I est toujours plus dense que le reste du cytoplasme. La région nucléolaire est plus dense que cette sphère et les chromosomes sont les structures les plus denses de toutes. Le retard de la lumière passant par les régions de la cellule occupées par eux peut atteindre jusqu'à une longueur d'onde par rapport à celle qui n'a traversé que le cytoplasme. La partie de la cellule dans laquelle se tiennent les chromosomes à la prométaphase I, est plus dense que le cytoplasme, bien que moins dense que les chromosomes.

A la métaphase des deux divisions, la région du fuseau est plus dense que le cytoplasme, mais moins dense que les chromosomes. Mitchison et Swann ont trouvé que le cytoplasme des œufs d'oursin a un indice de réfraction égal ou supérieur à ceux du fuseau et des chromosomes, ce qui peut être attribué au fait que le cytoplasme de ces cellules est particulièrement riche en matériel de réserve [4]. La région du fuseau, située entre les groupes de chromosomes aux anaphases I et II, est plus dense que le cytoplasme et la densité de cette région est encore plus forte à la télophase. L'accroissement de densité de cette région entre

les anaphases I et II est en bon accord avec les résultats de Rustad et avec le fait que, dans certains cas, on a pu détecter des ribonucléoprotéines dans cette région après l'anaphase [5, 10]. Wassermann a décrit la libération d'une substance par les chromosomes anaphasiques [7]. L'augmentation de densité serait alors produite par le matériel libéré par les chromosomes, ce qui confirmerait l'hypothèse suivant laquelle les mouvements des chromosomes à l'anaphase seraient dus à la libération d'une substance par ces chromosomes [11].

Les relations entre les densités des différentes régions sont, selon toute probabilité, identiques dans toutes les cellules et, dans plusieurs centaines de cellules observées sans mesures, on a pu le vérifier, en notant simplement les différences de couleur. Les valeurs absolues des retards, provoqués par les différentes structures cellulaires, peuvent être obtenues, soit en isolant le constituant et mesurant alors son retard optique, soit par des observations de cellules intactes dont on connaît bien la géométrie des différentes parties. Au milieu du stade pachytène, le nucléole chez *Triticum aestivum* retarde la lumière verte d'environ une longueur d'onde. Le calcul donne un poids sec d'environ 3×10^{-11} g pour ce nucléole.

Le fait que le retard de la lumière est maximum dans les régions occupées par les chromosomes et que ce sont les plus petites structures étudiées montre que ce sont les structures les plus denses de la cellule. De même, la densité des autres structures, s'ordonne certainement dans l'ordre indiqué ci-dessus.

Le microscope interférentiel peut aussi rendre possible une étude plus poussée de la duplication des chromosomes. Une analyse de la distribution de matière dans les chromosomes s'ensuivrait, ainsi que la construction de cartes montrant la distribution de matière sèche dans les chromosomes.

La microscopie interférentielle, si elle est utilisée à sensibilité maximum et débarrassée des obstacles que présentent divers matériaux biologiques, permet la mise en évidence de retards de lumière de moins d'un dixième de longueur d'onde, ce qui correspond à un poids sec de 3×10^{-13} g par micron carré en lumière verte monochromatique de longueur d'onde 5 460 Å.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été faite au Laboratoire National Argonne sous les auspices de la Commission américaine de l'Energie Atomique et partiellement financée par une subvention fournie à M. Mota par l'Académie Nationale des Sciences (Washington) et l'Administration de la Coopération Internationale. Le principal auteur remercie Mr George Svihla du Laboratoire National Argonne pour son aide dans l'usage des microscopes interférentiels.

DÉTAILS TECHNIQUES

On a fixé le matériel dans une solution de Carnoy (alcool éthylique, chloroforme et acide acétique glacial) pendant au moins deux jours, puis lavé à l'acide acétique à 45% avant de passer à l'eau distillée. Les frottis sont faits dans des concentrations d'acide acétique allant de 45 à 5%, et dans l'eau distillée. On lute les lamelles pour éviter une évaporation du milieu de montage.

L'éclairage provient d'une lampe à haute pression de vapeur de mercure. On n'utilise aucun filtre pour l'observation générale ni pour prendre les photographies montrant la séparation colorée entre les différentes régions cellulaires. Les mesures ont été faites en utilisant un filtre interférentiel isolant une lumière verte de 5 460 Å. Pour obtenir les conditions optimales de mesure et d'observation, on disperse la frange blanche de premier ordre de manière à couvrir tout le champ de vision, si bien que la phase du fond est constante pour toute position de l'analyseur. La différence de chemin optique est mesurée en lisant le nombre de degrés dont il faut tourner l'analyseur à partir de la position d'extinction maximum pour le fond, jusqu'à la position correspondant au maximum d'extinction pour la région de la cellule considérée. On a utilisé les microscopes à interférence Cooke-Dyson et AO-Baker. Pour déterminer le nombre de longueurs d'onde dont la lumière est retardée en passant à travers l'objet, on a utilisé le microscope Cooke-Dyson, avec les franges dans le champ de vision, et comparé entre elles les couleurs des franges.

RÉFÉRENCES

[1] MAZIA, D. et DAN, F. *Proc. nat. Acad. Sci., Wash.*, **38**, 826, 1952.
[2] SCHMIDT, W. J. *Naturwissenschaften*, **24**, 463, 1936.
[3] INOUÉ, S. *Exp. Cell Res., Suppl.*, **2**, 305, 1952.
[4] MITCHISON, J. M. et SWANN, M. M. *Quart. J. micr. Sci.*, **94**, 381, 1953.
[5] RUSTAD, R. R. *Exp. Cell Res.*, **16**, 575, 1959.
[6] BARER, R. «Phase contrast and interference microscopy in cytology», en «Physical Techniques in Biological Research». G. Oster et A. W. Pollister. (publié sous la direction de). Vol. III, 29, 1956.
[7] WASSERMANN, F. «Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen». Partie II. «Wachstum und Vermehrung der lebendigen Masse». Julius Springer, Berlin. 1929.
[8] BAJER, A. *Exp. Cell Res.*, **13**, 493, 1957.
[9] ROSS, K. F. A. *Quart. J. micr. Sci.*, **95**, 425, 1954.
[10] JACOBSON, W. et WEBB, M. *Exp. Cell Res.*, **3**, 163, 1952.
[11] MOTA, M. «A new hypothesis of the anaphase movement». Genetics Symposia 1956, 113, 1957.

Les cytochromes végétaux

par W. O. JAMES et RACHEL M. LEECH

La nature et la fonction biologique des cytochromes ont suscité un grand nombre de travaux. Les cytochromes végétaux sont connus depuis longtemps comme catalyseurs cellulaires de la plus haute importance, et de récentes études ont permis d'élargir les limites de ce groupe, laissant entrevoir des fonctions nouvelles pour quelques-uns de ses membres.

Les pigments cytochromes se trouvent dans les cellules de tous les organismes aérobies. Du fait de leur fluctuation aisée entre l'état ferreux et l'état ferrique à l'intérieur de la cellule, ils sont tous d'efficients transporteurs biologiques d'électrons et jouent un rôle vital dans les oxydations cellulaires, tant chez les plantes que chez les animaux.

Les cytochromes sont des protéines conjuguées dans lesquelles le groupement prosthétique catalytiquement actif est une porphyrine du fer. Ils peuvent aisément être convertis en hémochromogènes correspondants par substitution à la protéine d'une base organique, en général la pyridine. Les cytochromes ferreux présentent un spectre d'absorption typique avec trois maxima juste un peu moins intenses que ceux de l'hémochromogène de pyridine. Les trois maxima varient selon le pigment spécifique mais se trouvent dans les gammes $\alpha = 550–605$ mμ, $\beta = 520–530$ mμ, $\gamma = 415–450$ mμ. Les intensités relatives des bandes sont de $\gamma \gg \alpha > \beta$. Le sommet γ est environ 4 fois plus élevé que le sommet α. Par oxydation, les sommets α et β sont remplacés par une zone diffuse d'absorption et le sommet γ est déplacé en quelque sorte vers le bleu. Le changement d'absorption quand un cytochrome est réduit peut être très faible ou même indécelable à la position du sommet β, mais les modifications dans la position α peuvent avoir une valeur diagnostique.

La connaissance de la présence des cytochromes et de leur comportement biologique repose encore très fortement sur ces caractéristiques spectrales et date d'une publication de D. Keilin en 1925 [10] qui révisait et étendait les observations antérieures de MacMunn. Keilin a montré que le spectre typique du cytochrome était observable dans une très large gamme de plantes ainsi que dans les tissus animaux. Le spectre typique consiste en quatre raies aisément détectées par un spectroscope visuel à basse dispersion (figure 1). Trois des quatre raies représentent les raies α des cytochromes a, b et c, et la quatrième, leurs raies β non résolues. Il fut décidé plus tard que le cytochrome n'apportait pas de contribution mesurable aux raies β. De tels spectres se voient dans de nombreux tissus végétaux après réduction par la dithionite, les bases des bulbes d'échalote (*Allium ascalonicum*) étant des sujets particulièrement favorables. La figure 1 reproduit le diagramme original de Keilin comparant les spectres observés dans les bulbes d'échalote et dans la levure. Depuis, d'autres expérimentateurs ont considérablement étendu la gamme des observations [2, 3, 16, 18].

Le spectre typique, quelquefois avec des suppléments, a été constaté dans les membres de seize familles. Il a été signalé dans presque tous les organes des plantes et dans les racines tubéreuses et les spadices des massues stériles de l'inflorescence chez l'*Arum*. Les cytochromes ont ainsi été identifiés spectroscopiquement dans les algues vertes et dans tous les principaux groupes de mycètes [3]. Il y a des présomptions de leur présence dans les spermatozoïdes de fougère [17].

Les tissus végétaux présentent deux difficultés qui rendent l'observation des cytochromes moins facile chez eux que dans d'autres tissus. La concentration de cytochrome dans les cellules végétales est très faible et a été calculée comme étant de l'ordre de 10^{-6} M [8], quoiqu'elle puisse être dix fois plus forte dans la levure. Les tissus végétaux contiennent aussi des pigments perturbateurs à des concentrations gênantes. A la suite de Keilin, les observateurs des tissus végétaux ont presque toujours trouvé une bande d'absorption diffuse entre les longueurs d'onde de 550 et 560 mμ, soit en état d'oxydation, soit en état de réduction (figure 1, ligne inférieure). A la réduction, les raies dues aux cytochromes b et c apparaissent seulement sous forme d'intensification des deux bords au lieu de deux raies indépendantes.

L'application des spectrophotomètres du type récemment décrit par H. Lundegårdh [19] a fait progresser considérablement l'étude des cytochromes végétaux au cours de la dernière décennie.

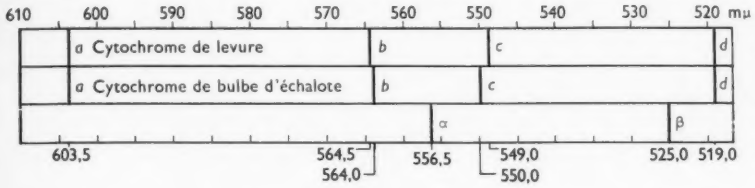


FIGURE 1 – *Position des raies visibles des cytochromes a, b et c dans la levure et les échalotes; les raies observées dans les haricots. Reproduction du diagramme de Keilin* [10]. *L'extrémité rouge du spectre se trouve à gauche.*

Par ce moyen et par d'autres, il a été montré que les cytochromes a, b et c ne sont pas des substances uniques mais sont tous les trois des substances typiques appartenant à des groupes. Par exemple, le sommet α du cytochrome b observé à l'œil dans les jeunes racines d'orge aux environs de 561 mμ respectivement peut être résolu dans des conditions favorables en sommets α des cytochromes b et b_3 à 563 et 560 mμ respectivement (figure 2). Les cytochromes a, b et c sont supposés chacun être identiques ou tout au moins très semblables quelle que soit leur source, animale ou végétale. Environ une vingtaine de cytochromes sont actuellement connus et, de ceux-ci, quatre n'ont été identifiés que dans le règne végétal. Le tableau 1 énumère tous ceux, au nombre de neuf, qui ont été identifiés dans les plantes, et donne leurs principales propriétés diagnostiques.

Les cytochromes végétaux peuvent être divisés en trois groupes principaux, soit c, c_1, f; b, b_3, b_6, b_7; a et a_3. Les membres de chaque groupe ont des sommets d'absorption α placés au même endroit à l'état réduit, donnant naissance à des hémochromogènes de pyridine semblables et ont un comportement similaire (voir tableau 1).

LES CYTOCHROMES DU GROUPE C

Les sommets α de ces cytochromes se trouvent situés entre 550 et 555 mμ. Leur groupement prosthétique est la protohématine (protoporphyrine de fer); mais il est lié à la protéine par les deux groupes thiol de la protéine et les deux groupes vinyl de la porphyrine.

Tous les membres de ce groupe forment le

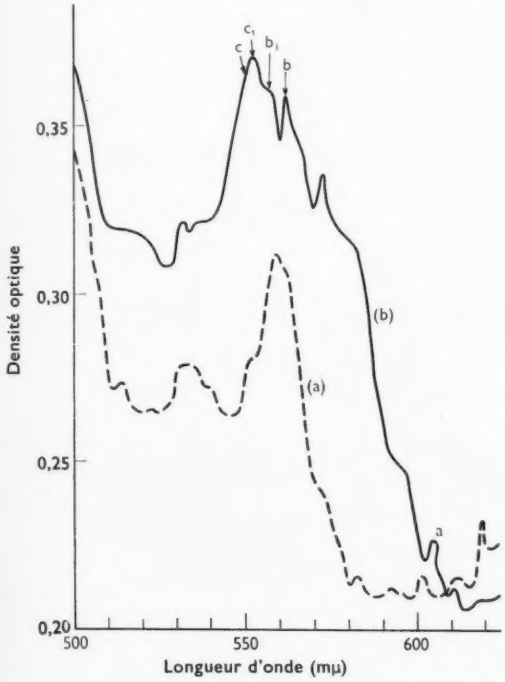


FIGURE 2 – *Les courbes d'absorption d'une couche de 17 mm d'épaisseur de racines d'orge âgées de 3 jours en conditions aérobies* (a) *et anaérobies* (b) [20].

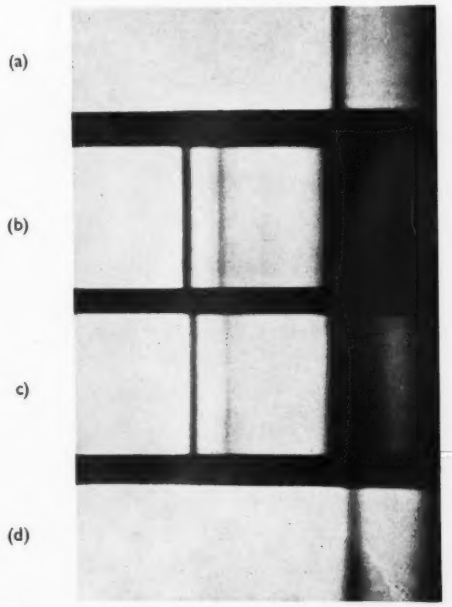


FIGURE 3 – *Spectres d'absorption.* (a) *Le cytochrome f (provenant de feuilles de persil) ne présentant qu'une raie* γ. (b) *Le même, mais à une concentration* × 6–7, *présentant les raies* α *et* β; (c) *et* (d) *le cytochrome c (de cœur de cheval) aux mêmes concentrations que* (a) *et* (b). *L'extrémité rouge du spectre se trouve à gauche* [21].

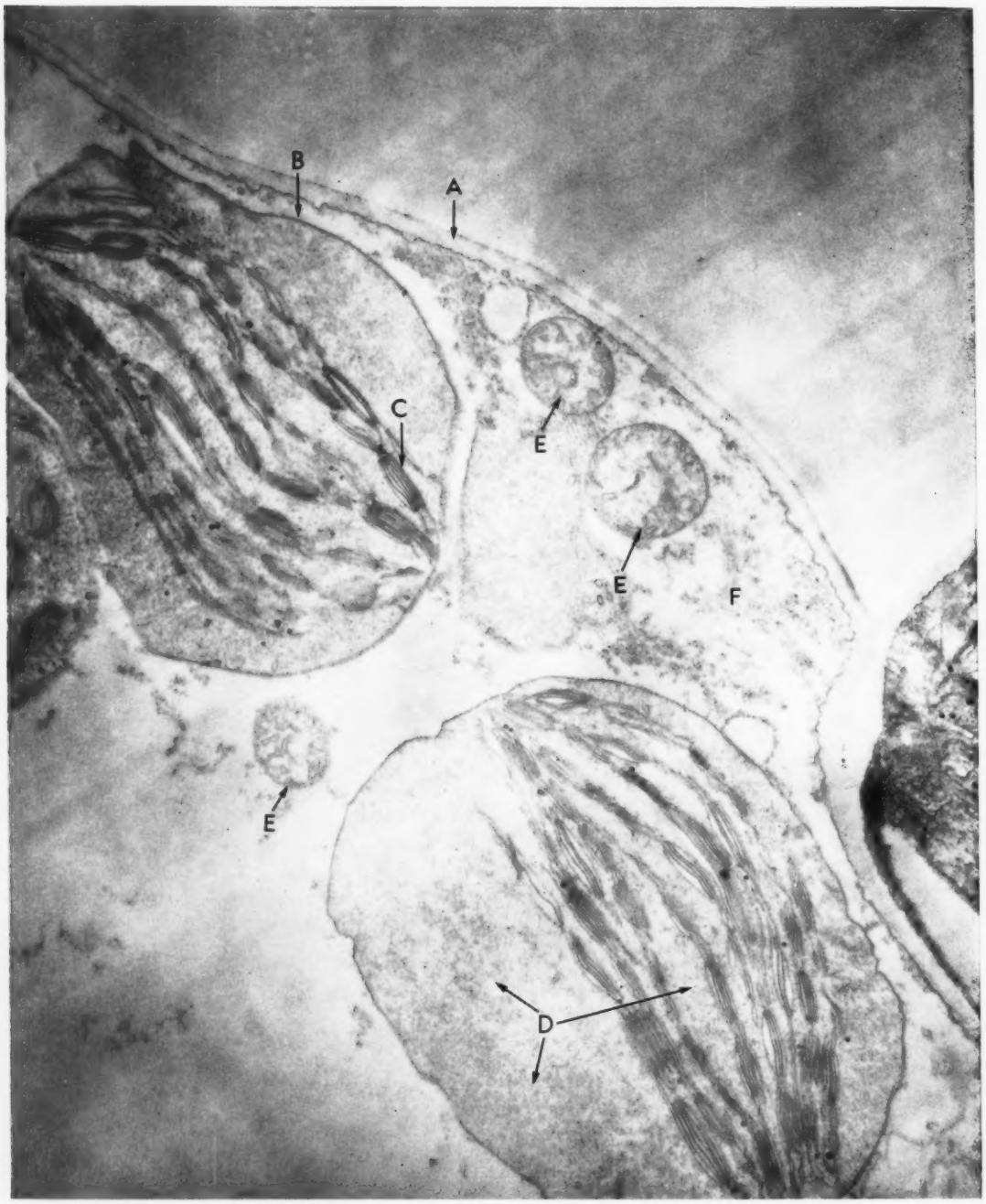


FIGURE 4 – *Portion de cellule provenant du mésophylle spongieux d'une feuille de fève* Vicia faba. *A, paroi cellulaire; B, chloroplastide; C, granum avec lamelles coupées transversalement; D, stroma du chloroplastide; E, mitochondries montrant les replis tubulaires de la paroi; F, cytoplasme.* (*Micrographie électronique par M.S.C. Birbeck.*) (× 22 000)

TABLEAU I

Quelques propriétés des cytochromes végétaux

Cytochrome	Source de cytochrome partiellement purifié	Sommets d'absorption, en mμ, de la forme réduite			Sommet α de l'hémochromogène de pyridine	Potentiel redox standard volts	Réaction avec			Solubilité	Références
		α	β	γ			CO	Cyanure	O_2		
a		603	*Aucun*	*452*	585	+0,29	Non	Non	Non	Insoluble	[6, 11]
a_3		ca.*600*	*Aucun*	*448*	585		Oui	Oui	Oui	Insoluble	[6, 11]
b		563	*530*	*432*	558	−0,04	Non	Non	Très légèrement	Insoluble	[6, 11, 1]
b_3	Feuilles de *Vicia faba*	560	529	425	557	+0,04	Non	Non	Oui	Soluble	[8, 13]
b_6		563	528	430	558	−0,06	Non	Non	Oui*	Insoluble	[7, 9]
b_7		560	529			−0,03	Non	Non	Oui	Insoluble	[6]
c	Germe de blé	550	521	417	551	+0,255	Non	Non	Non	Soluble	[6, 8]
c_1	Muscle cardiaque	*553*	*524*	*418*	551	+0,22	Non	Non	Non	Soluble	[12, 22]
f	Persil	555	526	422	551	+0,365	Non	Non	Non	Soluble	[11, 6]

Les longueurs d'onde en chiffres italiques n'ont été vérifiées que sur des cytochromes d'origine animale.
* Auto-oxydable dans des préparations de chloroplastides.

même hémochromogène de pyridine avec un sommet α à 551 mμ. Ils sont aisément extrayables en solution aqueuse et sont beaucoup plus stables que les autres cytochromes végétaux. En conditions biologiques normales, ils ne réagissent pas avec l'oxygène; toutefois, au-dessus de 70°, le cytochrome c réagira avec l'oxygène atmosphérique et n'est pas dénaturé par les températures élevées.

Cytochrome c. Celui-ci a été trouvé dans toutes les plantes aérobies examinées jusqu'à ce jour. Le premier extrait d'une plante fut réalisé en 1935 par E. Yakashuji avec l'algue *Porphyra tenera* [18]; mais des produits beaucoup plus purs ont été maintenant obtenus à partir de germe de blé [5] et de la rouille *Ustilago sphaerogena* [15]. Le cytochrome c des sources précitées a une activité catalytique identique à celle du cytochrome c du muscle cardiaque. Les spectres de cytochrome c pur, provenant de sources différentes, sont tous identiques, sauf que le sommet γ est à 417 mμ pour le blé, tandis qu'il est à 415 mμ pour l'*Ustilago* et le cœur.

Toutefois, il y a quelques différences dans les propriétés de cytochrome c provenant de sources différentes. Tandis que pour du matériel animal, on emploie un milieu d'extraction acide, seuls les milieux alcalins sont efficaces pour les plantes (NaOH diluée pour l'*Ustilago* et K_2HPO_4, 0,1 M alcalin pour le germe de blé). De plus, il a été signalé que le cytochrome c d'*Ustilago* a un poids moléculaire plus élevé (18 000) que le cytochrome c du cœur ou de la levure de boulanger (12 000) ainsi qu'un point isoélectrique plus bas. Ces similitudes et ces différences prises ensemble font supposer que, si la partie hémine de la molécule est la même dans le cytochrome c provenant de sources différentes, les protéines auxquelles sont fixées l'hémine, peuvent différer.

Cytochrome c_1. Quand une préparation réduite de muscle cardiaque est refroidie à la température de l'air liquide et examinée au microspectroscope, une nouvelle raie, non visible à température ambiante, se voit à 552 mμ. Il a été prouvé que cette raie était due à la présence d'un pigment très voisin du cytochrome c qui a été dénommé cytochrome c_1. Ce corps a été extrait du muscle cardiaque et, sous sa forme réduite, présente des sommets à 553, 524 et 418 mμ.

A la température de l'air liquide [12, 3], apparaît une raie semblable à 552 mμ dans le spectre des préparations réduites du ferment *Torulopsis utilis* et d'un grand nombre d'autres moisissures. La nouvelle raie a été interprétée comme étant due au cytochrome c_1. Dans les spectres de quelques préparations mitochondriales réduites provenant de plantes supérieures, il a été remarqué que le sommet α dû au cytochrome c

réduit n'est pas à 550 mμ mais s'est déplacé de 2 à 4 mμ vers l'extrémité rouge du spectre; dans les mitochondries de blé et du chou *Symplocarpus foetidus*, le sommet est à 553 mμ. Une distorsion semblable se remarque dans le spectre réduit du blé et de racines d'orge vieilles de trois jours (figure 2) où le sommet α se trouve à 552 mμ. Ces distorsions du spectre réduit ont aussi été interprétées comme une indication de la présence de cytochrome c_1.

Cytochrome f. Celui-ci se trouve dans les cellules vertes des plantes supérieures, dans les algues vertes et les *Euglena*. Dans les plantes supérieures, il ne se trouve que dans les chloroplastides et n'a pas été décelé chez les animaux ou les bactéries. Il fut extrait par l'éthanol ammoniacal (96%) des feuilles de sureau (*Sambucus nigra*) et fortement purifié par H. E. Davenport et R. Hill [4] qui ont décrit très en détails ses propriétés. Il est très voisin du cytochrome c. Les deux ont un spectre semblable, les sommets d'absorption du cytochrome f étant de 4 à 8 mμ plus près de l'extrémité rouge du spectre (figure 3). Les deux substances forment le même hémochromogène de pyridine et aucun des deux ne réagit avec l'oxyde de carbone ou l'oxygène dans des conditions biologiques normales; les deux sont oxydés par le ferricyanure. Quoique stable en comparaison avec la plupart des autres cytochromes, le cytochrome f n'est pas aussi stable que le cytochrome c. Il est dénaturé de façon irréversible au-dessus de 50°, au-dessous de *p*H 4 et au-dessus de *p*H 11. Le potentiel «redox» du cytochrome f, +0,365 V, est le plus oxydant de tous les cytochromes connus.

CYTOCHROMES DU GROUPE b

Les cytochromes de ce groupe donnent des protohémochromogènes normaux sans la modification due aux liaisons soufre spéciales typiques du groupe c. Les sommets d'absorption α se trouvent dans la gamme des 559–564 mμ; tant qu'il ne s'agit que de cytochromes végétaux, il n'y a pas de chevauchement des valeurs du sommet entre l'un ou l'autre des groupes c et a. Les cytochromes b sont beaucoup moins solubles, ou tout au moins extrayables, que ceux du groupe c et leurs protéines sont plus aisément dénaturées.

Cytochrome b_3. Des quatre membres végétaux de ce groupe, seul le cytochrome b_3 a été extrait de manière satisfaisante et purifié sur une grande échelle. Il se trouve dans de nombreux tissus végétaux mais n'a été extrait que des feuilles de la grosse fève *Vicia faba*. Les meilleures préparations obtenues sont encore un peu contaminées par la peroxydase. L'examen spectroscopique a révélé ce fait sur des préparations réduites sous forme d'un épaulement sur la courbe d'absorption à 594 mμ. Le cytochrome b_3 est légèrement soluble même dans le sulfate d'ammonium saturé, propriété qui a été utilisée pour le séparer du cytochrome c qui l'accompagne. Il est dénaturé par l'acétone froide et les acides. Il réagit avec l'oxygène à température ambiante.

Les autres cytochromes du groupe b sont fixés de manière plus tenace dans la structure cellulaire d'où ils n'ont pas encore été séparés.

Cytochrome b. Celui-ci est le type de cytochrome le plus abondant dans les cellules végétales, avec une concentration double de celle du cytochrome c. Il est immédiatement détruit par l'acétone froide. Parmi les cytochromes b, il est le moins auto-oxydable, ne réagissant que faiblement avec l'oxygène et pas du tout avec l'oxyde de carbone.

Cytochrome b_7. Quoique ce composé réagisse extrêmement facilement avec l'oxygène, comme les autres membres de ce groupe, il ne se combine pas avec l'oxyde de carbone ou le cyanure. Sous cet angle, le cytochrome b_7 est différent de l'autre cytochrome très auto-oxydable, le cytochrome a_3, qui réagit de manière compétitive avec l'oxygène et l'oxyde de carbone. Le cytochrome b_7 n'a été trouvé jusqu'à maintenant que dans les mitochondries des spadices d'*Arum*, et ce, en quantités relativement importantes.

Cytochrome b_6. Différent des autres membres du groupe b, ce cytochrome n'est pas dénaturé par l'acétone froide qui peut ainsi être utilisée pour faciliter son étude après enlèvement des pigments acétono-solubles telles que les chlorophylles.

CYTOCHROMES DU GROUPE a

Ce groupe s'est révélé le plus difficile à étudier dans les plantes parce que sa concentration est la plus faible et qu'il semble perdre rapidement son activité dans des homogénats à température ambiante. Néanmoins, il a été possible de recueillir dans des matériaux végétaux de multiples observations visuelles de sa raie α entre 600 et 605 mμ. Récemment, plusieurs groupes de chercheurs l'ont enregistré au spectrophotomètre, mais toujours avec une dispersion également large de sa raie α. La raie γ à 444 mμ a aussi été enregistrée pour les mitochondries de blé comme un épaulement sur le sommet large et composé dans cette zone.

Cytochrome a_3. Celui-ci a été récemment décelé dans les embryons de blé où la raie du complexe $a+a_3$ paraît inhabituellement forte par rapport aux raies b et c. Les mitochondries extraites du

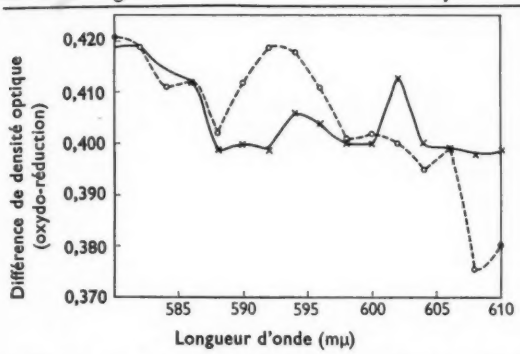


FIGURE 5 – *Courbes d'absorption d'une suspension de mitochondries d'embryons de blé désintégrées par les ultra-sons. Ligne pleine: spectre différentiel après réduction par la dithionite seule; ligne brisée: suspension réduite traitée à l'oxyde de carbone.*

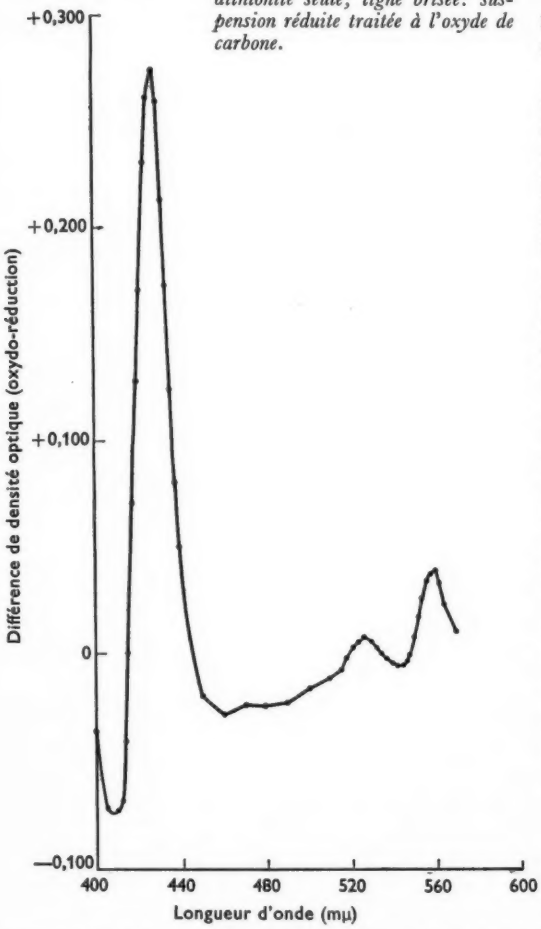


FIGURE 6 – *Spectre différentiel (réduction-oxydation) d'une poudre acétonique de grana provenant d'une préparation purifiée de chloroplastides de feuilles de fève. Les sommets du cytochrome b_6 sont légèrement déplacés vers la gauche par suite de la présence d'un peu de cytochrome f.*

germe de blé et ensuite désintégrées par vibrations ultrasoniques, puis suspendues dans le glycérol, se sont révélés aptes à l'examen au spectrophotomètre. La courbe continue de la figure 5 montre l'absorption des mitochondries réduites par la dithionite. Le sommet α du cytochrome $a+a_3$ se situe à 602 mμ avec sommet secondaire à 594 mμ caractéristique de la peroxydase réduite. Après traitement à l'oxyde de carbone, la courbe d'absorption se transforme en celle représentée par la ligne brisée qui révèle la formation d'un composé cytochrome a_3-CO avec absorption maximale aux environs de 590 mμ. En même temps, il se produit dans la région avoisinant 450 mμ une modification correspondante.

RÉPARTITION INTRA-CELLULAIRE DES CYTOCHROMES

Des suspensions très purifiées de chloroplastides provenant de feuilles de haricots et de l'algue verte *Caulerpa prolifera* ont été examinées au spectrophotomètre avec dispositif d'agrandissement. La comparaison entre les états oxydés et réduits révèle que seuls les cytochromes f et b_6 sont présents [9]. La contamination des préparations avec de très petites quantités de mitochondries produit des raies de cytochrome c sur l'image. Du fait de l'absorption relativement faible des chlorophylles dans la région verte, et de la sensibilité élevée de la méthode employée, il a été possible de faire l'examen avec des chloroplastides normaux sans avoir enlevé au préalable les chlorophylles. Les résultats confirment ceux des recherches antérieures avec des chloroplastides étiolés d'orge et les poudres incolores préparées à partir des chloroplastides extraits à l'acétone. Dans de telles poudres, par suite de la présence de cytochrome f à l'état partiellement réduit, une raie est généralement visible à 555 mμ. Par réduction à la dithionite, la raie à 555 mμ croît un peu en intensité; mais en même temps, apparaissent deux nouveaux sommets, l'un plus haut à 563 mμ et l'autre plus bas à 532 mμ. Ces nouvelles bandes d'absorption représentent les raies α et β du cytochrome b_6 réduit.

Parce qu'ils sont limités aux chloroplastides et qu'ils ont théoriquement des potentiels «redox» favorables, il a été suggéré que les cytochromes f et b fonctionnent en photosynthèse dans un système de transport électronique avec la chlorophylle. L'observation directe des déplacements d'absorption, qui indiqueraient des changements dans l'état des cytochromes, est difficile, et la participation directe de ces cytochromes dans

la photosynthèse n'a pas encore été clairement démontrée. Toutefois, il est de quelque intérêt sous cet angle que nous ayons pu récemment montrer que les cytochromes à l'intérieur des chloroplastides sont associés très intimement avec la chlorophylle. Lorsque des chloroplastides entiers sont désintégrés par vibration ultra-sonique, le stroma protéinacé de couleur paille peut être enlevé des grana qui supportent, par leurs lamelles étroitement entassées, les chlorophylles (voir C sur la figure 4). Les deux cytochromes se voient aussi entièrement localisés sur les grana (figure 6). Cette proximité étroite entre cytochromes et chlorophylles permettrait une efficience élevée dans tout cycle de transport d'électrons auquel ils participeraient en commun.

Les mitochondries extraites sont parmi les particules précipitées d'un homogénat tissulaire par une centrifugation de 20 à 30 minutes entre 5 000 et 20 000 *g*. Il est maintenant suffisamment clair que la fraction n'est pas homogène; mais des essais de fractionnement plus poussé n'ont pas donné de résultats précis. On considère que les vraies mitochondries sont ces particules à membrane externe définie ayant des replis de formes diverses autour d'une cavité centrale renfermant un suc liquide (figure 4, E).

Ils pourraient maintenant être considérés comme les sièges des oxydations respiratoires tout comme en fin de compte les chloroplastides ont été longtemps considérés comme les sièges des réductions photosynthétiques. Les cytochromes respiratoires y sont localisés; l'observation spectroscopique visuelle de ces cytochromes dans des organismes comme les racines de blé et d'orge est difficile du fait de leur dilution; mais, lorsque les mitochondries sont extraites et que le reste de l'homogénat cellulaire est rejeté, les raies caractéristiques des cytochromes a, b et c se voient aisément. De telles observations, à la fois visuelles et spectrophotométriques, ont été maintenant faites sur un grand nombre d'espèces. Les mitochondries des spadices d'*Arum* renferment aussi le cytochrome b_7; et la déformation typique de la courbe d'absorption obtenue avec une suspension de mitochondries de blé laisse supposer la présence de cytochrome c_1 [14].

Les cytochromes des mitochondries paraissent être attachés aux parois. Lorsque les mitochondries sont désintégrées par les ultra-sons et que le suc est rejeté avec le milieu de suspension, les cytochromes a et b restent fixés aux particules solides. Le cytochrome c reste aussi, du moins en partie. Du fait de sa solubilité, il n'est pas certain que tout le cytochrome c soit naturellement fixé aux membranes de la mitochondrie.

Il a été publié que la totalité des cytochromes d'une cellule végétale n'est pas précipitée avec les chloroplastides et les mitochondries et que certains cytochromes sont précipités avec la fraction microsome obtenue par ultra-centrifugation prolongée à 50 000–100 000 *g*.

On n'a pas encore décelé de cytochromes dans les noyaux, qu'ils soient d'origine végétale ou animale, quoique des noyaux exempts de mitochondries puissent s'obtenir à partir des embryons de blé. Ceux-ci, au laboratoire des auteurs, n'ont pas révélé de cytochromes spectroscopiquement décelable aux concentrations vingt fois plus fortes (par rapport à l'azote total) que celles requises par les mitochondries. Aucune activité d'oxydase du cytochrome n'a pu être démontrée au manomètre.

Quoique les composés d'hémine se trouvent dans la «fraction soluble» du cytoplasme, aucun d'eux ne s'est révélé être un cytochrome; et aucun cytochrome n'est attaché à la paroi cellulaire.

RÉFÉRENCES

[1] Bendall, D. S. et Hill, R. *New Phytol.*, **55**, 206, 1956.
[2] Bhagvat, K. et Hill, R. *Ibid.*, **50**, 112, 1951.
[3] Boulter, D. et Derbyshire, E. *J. exp. Bot.*, **8**, 313, 1957.
[4] Davenport, H. E. et Hill, R. *Proc. roy. Soc., B*, **139**, 327, 1952.
[5] Goddard, D. R. *Amer. J. Bot.*, **31**, 270, 1944.
[6] Hartree, E. F. *Advanc. Enzymol.*, **18**, 1, 1958.
[7] Hill, R. *Nature, Lond.*, **174**, 501, 1954.
[8] Hill, R. et Scarisbrick, R. *New Phytol.*, **50**, 98, 1951.
[9] James, W. O. et Leech, R. M. *Nature, Lond.*, **182**, 1684, 1958; *Pubbl. Staz. zool. Napoli*, **31**, 36, 1959.
[10] Keilin, D. *Proc. roy. Soc., B*, **98**, 312, 1925.
[11] Keilin, D. et Hartree, E. F. *Ibid., B*, **127**, 167, 1939.
[12] *Idem. Nature, Lond.*, **164**, 254, 1949.
[13] Martin, E. M. et Morton, R. K. *Ibid.*, **176**, 113, 1955.
[14] *Idem. Biochem. J.*, **65**, 404, 1957.
[15] Neilands, J. B. *J. biol. Chem.*, **197**, 701, 1952.
[16] Okunuki, K. *Acta Phytochim. Japan*, **11**, 27, 1939.
[17] Rothschild, Lord. *Proc. roy. Soc., B*, **138**, 272, 1951.
[18] Yakashuji, E. *Acta phytochim., Tokyo*, **8**, 325, 1935.
[19] Lundegårdh, H. *Endeavour*, **18**, 191, 1959.
[20] James, W. O. et Lundegårdh, H. *Proc. roy. Soc., B*, **150**, 7, 1959.
[21] Hill, R. *Symp. Soc. exp. Biol.*, **5**, 222, 1951.
[22] Green, D. E., Järnefelt, J. et Tisdale, H. D. *Biochem. Biophys. Acta*, **31**, 34, 1959.

Revue des livres

PHYSIQUE

ASTON, J. G. et FRITZ, J. J.: *Thermodynamics and Statistical Thermodynamics*. Pp. XIV + 556. John Wiley & Sons Inc., New-York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1959. 66s.

Comme beaucoup d'autres textes de thermodynamique, celui-ci est basé sur une série de conférences universitaires. Il repose sur les matériaux d'un cours de licence d'une année de l'Université de l'Etat de Pennsylvanie, mais conviendrait mieux aux étudiants des cours universitaires spécialisés en Grande-Bretagne. Une des considérations premières dans l'enseignement de la thermodynamique est d'inspirer confiance dans l'emploi de ses résultats, aspect qui est bien pourvu par l'addition de 400 problèmes et exercices, et de tableaux très utiles inclus dans les suppléments qui complètent le texte. Les questions traitées dans bon nombre de chapitres le sont aussi maintenant dans plusieurs autres manuels, mais l'étude des niveaux d'énergie dans les molécules polyatomiques et de leur rôle thermodynamique rendra spécialement service dans l'enseignement car on ne la trouve nulle part ailleurs sous une forme aussi claire et accessible. Les chapitres sur l'état solide exposent les théories élémentaires principales, mais ne donnent pas beaucoup d'exemples expérimentaux. Le volume rendra service à ceux qui préparent un cours de thermodynamique et certains chapitres, bien que de niveau assez élémentaire, pourraient être utile aux étudiants spécialisés. A. R. UBBELOHDE

GUGENBURGER, P., présenté par: *Proceedings of the International Conference on Nuclear Physics, Paris, 7–12 July*, 1958. Pp. XXIV + 950. Crosby Lockwood & Son Ltd., Londres. 1959. 140s.

La valeur des comptes rendus permanents de conférences scientifiques est discutable. Tout dépend de la tournure de la conférence et une sélection judicieuse est nécessaire pour que le livre soit uniforme.

Ce volume sur la physique nucléaire aux énergies faibles complète en partie les volumes classiques sur le sujet. Il renferme des résumés de valeur, œuvre d'experts internationaux, sur des points tels que le neutron, le proton, la dispersion d'électrons par les noyaux, les interactions directes, les réactions d'ions lourds, les réactions photonucléaires, les interactions faibles, les modèles de constitution nucléaire, et relate les progrès de la théorie fondamentale des propriétés nucléaires.

La présentation de brefs articles du genre qui avait rabaissé le ton d'autres conférences a été abandonnée à Paris. Le résumé des courts articles a été inclus dans les exposés principaux, donnant ainsi plus de cohésion et d'intérêt à la discussion. On trouve donc ici un tableau vivant et assez à jour des problèmes majeurs du sujet ainsi que des directions de développement et des points discutables.

La faute principale est d'avoir ajouté 150 brefs articles qui occupent les deux tiers du livre et dont la plupart auraient normalement paru dans la littérature courante de physique nucléaire. Il aurait fallu omettre tous ceux qui n'étaient pas essentiels à l'argumentation des conférenciers principaux.

J. E. LYNN

LEONTOVICH, M. A., directeur de publication: *Plasma Physics and the Problem of Controlled Thermonuclear Reactions*, Vol. III (traduit du russe par J. B. Sykes). Pp. 422. Pergamon Press Ltd., Londres. 1959. 160s.

Ce volume est le 3e d'une série de quatre publiant des articles inédits de physique plasmatique, œuvre de physiciens russes en 1954–57. Les 26 articles se divisent grossièrement en trois catégories: articles théoriques sur les problèmes fondamentaux, articles théoriques décrivant ou proposant des engins thermonucléaires contrôlés et articles donnant le résultat d'expériences sur des versions idéalisées de ces engins. En ce qui concerne les problèmes fondamentaux, il y a des articles donnant la dérivation d'équations de transport et de fonctions de répartition en présence de champs intenses et traitant des équations hydrodynamiques déterminant le mouvement du plasma. Plusieurs articles étudient la perte d'énergie aux fortes températures et la stabilité des plasmas limités par des cloisons magnétiques. Les articles expérimentaux discutent les intensités de champs et de courants et les instruments employés dans leur mesure. C'est une collection intéressante donnant une idée de l'envergure et de la durée du programme d'études russe et nous sommes reconnaissants aux éditeurs de nous l'avoir rendu accessible en anglais, bien que le prix en soit prohibitif pour l'acheteur privé. On espère cependant qu'à l'avenir tous les travaux russes dans ce domaine paraîtront normalement dans les revues scientifiques. S. F. EDWARDS

CHIMIE

BENTLEY, K. W., publié par: *The Chemistry of Natural Products*. Vol. II, *Mono- and Sesquiterpenoids*, par P. de Mayo. Pp. VII + 320. 52s. Vol. III, *The Higher Terpenoids*, par P. de Mayo. Pp. VII + 239. 42s. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1959.

Dès le début de l'étude chimique des produits naturels, les organiciens se sont intéressés aux terpénoïdes. C'est un groupe remarquable de composés qui, le déclare l'auteur, «offre un abrégé presque parfait de la chimie organique».

Ces dernières années ont vu des progrès très rapides, surtout sur les sesquiterpénoïdes, les diterpénoïdes et les triterpénoïdes, ainsi qu'un besoin croissant d'exposé général critique et à jour de leur chimie. Ces deux volumes répondent admirablement à ce besoin et seront utiles aux étudiants qui s'intéressent aux produits naturels (et aux mécanismes de réaction), à ceux qui font des recherches et à leurs professeurs. Comme le montre la taille des volumes, ce ne sont pas des ouvrages de référence.

Le premier fait l'étude chimique des monoterpénoïdes et des sesquiterpénoïdes et fait une revue utile des applications de la spectroscopie infrarouge, ultraviolette et par résonance magnétique nucléaire. Il traite aussi de la rotation moléculaire, de l'analyse de structure, des transpositions Wagner-Meerwein et expose dans leurs grandes lignes les théories classiques et originales des ions de carbonium.

Le second volume s'occupe des diterpénoïdes et des triterpénoïdes et passe en revue la biosynthèse des terpénoïdes. On a fait tant de progrès en biosynthèse depuis l'impression du volume que le tableau est malheureusement déjà incomplet. Volumes à recommander vivement à tous ceux qui s'intéressent aux terpénoïdes.

T. G. HALSALL

FIESER, L. F. et M.: *Steroids*. Pp. XVII + 945. Reinhold Publishing Corporation, New-York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1959. 144s.

La dernière décennie a vu la synthèse chimique complète du cholestérol, des hormones progestationnelles, androgéniques et adrénaliniques ainsi que de la vitamine D_3. On en a déduit la configuration absolue des stéroïdes et expliqué l'influence de la conformation sur la réactivité, ce qui a permis d'entrevoir la direction de la biogenèse des stéroïdes et de les classer parmi les polyisoprénoïdes. Les oxydations microbiologiques et une immense variété de synthèses partielles ont permis de produire une série d'hormones artificielles dépassant dans certains cas l'activité de leurs prototypes naturels. La structure complexe de plusieurs alcaloïdes stéroïdes a été établie.

Dix ans ont passé depuis la dernière édition du volume et on note avec plaisir que les auteurs se sont surpassés, abordant le sujet de façon chimique-biologique-historique-personnelle. Ils montrent un intérêt qui embrasse non seulement les aspects académiques et pratiques du sujet, mais son historique et sa valeur en tant que réalisation scientifique. Ce point de vue, aidé par un talent littéraire sûr, a produit une œuvre intéressante et d'autorité. Les conseils de nombreux spécialistes ont contribué à l'exactitude du texte sans nuire à son unité. J. W. CORNFORTH

HONEYMAN, J., publié par: *Recent Advances in the Chemistry of Cellulose and Starch.* Pp. VIII + 358. Heywood & Co. Ltd., Londres. 1959. 60s.

Ce livre se compose de douze chapitres, œuvre de spécialistes dans chaque domaine particulier. Tous sont basés sur des conférences données au *College of Science and Technology* de Manchester. Très condensés, certains donnent presque l'impression de conférences, surtout le premier qui sert d'introduction à la chimie des hydrates de carbone. Là se trouve l'ensemble de la chimie des monosaccharides, analyse de structure comprise, en une vingtaine de pages suivies d'un formulaire de même longueur. Il est quelque peu gênant d'avoir à se reporter aux formules (provenant sans doute des projections montrées au cours des conférences) en fin de chapitre. C'est, malgré tout, un exposé de valeur où certaines questions, telles que l'analyse de structure et les oxydations périodiques, sont mieux présentées que nulle part ailleurs.

Les 3e et 4e chapitres sur la dégradation hydrolytique et par oxydation de la cellulose et sur la dégradation alcaline de la cellulose renferment beaucoup de nouveautés et ont une valeur d'actualité réelle. Ils seront spécialement utiles au chimiste des textiles.

Les chapitres sur la structure cristalline fine et les propriétés mécaniques de la cellulose, l'absorption d'eau par la cellulose et l'amidon et le degré de polymérisation de ces deux polysaccharides donneront au chimiste physicien un excellent aperçu des connaissances actuelles et une bibliographie de valeur. Le chimiste de l'industrie et des textiles appréciera l'étude des dérivés de la cellulose et de la préparation, des propriétés et des emplois de l'amidon, tandis qu'un important dernier chapitre sur la synthèse enzymatique et la dégradation fait une bonne conclusion à l'étude de la cellulose et de l'amidon.

Le volume est bien présenté et renferme de nombreux tableaux et diagrammes excellents ainsi que quelques belles planches. La bibliographie est bien choisie et il y a des index de sujets et d'auteurs. Le livre s'adresse aux diplômés, mais rendra aussi service aux étudiants avancés. Félicitons le directeur de publication de nous présenter si excellemment cette série de conférences si intéressantes sur les hydrates de carbone. M. STACEY

CRISTALLOGRAPHIE

BUERGER, M. J.: *Vector Space and its Application in Crystal-Structure Investigation.* Pp. XIV + 347. John Wiley & Sons Inc., New-York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1959. 96s.

Les résultats expérimentaux de la cristallographie par les rayons X ne permettent pas de déterminer la structure cristalline, ce qui soulève le problème des phases. Les méthodes de l'espace vectoriel ont été mises au point pour aider à résoudre ce problème et leur puissance et leurs limitations sont nettement indiquées. La première moitié de l'ouvrage traite des fonctions de Patterson, des cartes et projections, et des sections de Harker et la théorie d'implication. Il y a aussi des chapitres sur les fonctions en quête d'image et leurs divers emplois dans les projections et dans les trois dimensions.

Le volume s'adresse au chercheur mais ne demande que des connaissances élémentaires de l'analyse de la structure cristalline. Il n'exige pas non plus d'expérience mathématique spéciale, bien que le sujet soit plutôt mathématique, si ce n'est la faculté d'emploi d'expressions algébriques et analytiques et la compréhension de la géométrie dans l'espace. L'œuvre est très bien illustrée et le style n'est pas trop condensé. Les exemples sont nombreux et la bibliographie suffisante. L'auteur a déjà fait paraître une bonne partie des matériaux dans diverses revues, mais cette présentation unifiée du sujet permettra aux nouveaux lecteurs d'apprendre plus aisément les méthodes et applications de l'espace vectoriel. L. S. GODDARD

SARATOVKIN, D. D.: *Dendritic Crystallization.* Pp. 126. Consultants Bureau Inc., New-York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1959. $6.

Le livre s'adresse aux ingénieurs métallurgistes mais renferme aussi des généralités sur la croissance des cristaux. L'auteur se sert d'un microscope binoculaire pour observer les dendrites, telles que celles du chlorure d'ammonium dans des solutions aqueuses. Quelques microphotographies et dessins au trait forment des couples stéréoscopiques; il serait plus simple de supposer que le lecteur a accès à un stéréoscope.

Les formes de croissance des cristaux véritables sont passées en revue et reliées aux formes dendritiques et squelettales. Les divers effets des impuretés actives de surface sur la croissance cristalline sont étudiés assez en détail et l'auteur en conclut qu'il faut chercher l'explication de la croissance dendritique dans les impuretés toujours présentes. Les 40 dernières pages sont consacrées à l'eutectique et aux structures dendritiques dans les alliages. H. M. POWELL

OCÉANOGRAPHIE

BARNES, H.: *Oceanography and Marine Biology.* George Allen and Unwin Ltd., Londres. 1959. 35s.

L'auteur a réuni ici une masse de renseignements à l'intention du débutant plutôt que du spécialiste. Il montre comment s'obtiennent les connaissances océanographiques et pose suffisamment de problèmes avec leur réponse pour encourager à faire des constatations et à offrir des suggestions. Il traite de l'échantillonnage de l'eau de mer, des plantes, des animaux et des sédiments et discute les avantages et les inconvénients de chaque méthode. Les difficultés de l'analyse des matériaux prélevés sont aussi mentionnées.

La mer est peu transparente aux ondes lumineuses mais les gros-plans du fond de l'océan sont très utiles et on

trouve la description de plusieurs appareils de photographie sous-marine. Les possibilités de la photographie aérienne ne sont pas oubliées. L'auteur décrit aussi ses premières applications de la télévision sous-marine aux problèmes biologiques. Un bon chapitre sur la sonde acoustique met en relief la valeur des techniques du son en océanographie mais il faudra se méfier de l'indication que la fréquence du son émis par un oscillateur à magnétostriction varie avec celle de changement du courant. En pratique, il faut déplacer l'oscillateur à sa fréquence de résonance, déterminée par ses dimensions physiques.

On aimerait quelques renvois de plus dans le texte donnant les sources et des titres d'ouvrages à consulter.

G. E. R. DEACON

BIOCHIMIE

ZIRKLE, Raymond E., publié par: *A Symposium on Molecular Biology*. Pp. VIII + 348. University of Chicago Press, Chicago; Cambridge University Press, Londres. 1959. 56s. 6d.

Le prestige de la biologie moléculaire a beaucoup crû ces derniers temps et les organisateurs de conférences et les directeurs de publication des volumes de comptes rendus y ont contribué avec empressement. Beaucoup de chercheurs dans ce domaine pensent, comme nous, que trop de conférences se répètent et que la tâche d'écrire des articles pour ces volumes (condition souvent imposée au conférencier) retardent leurs travaux et la publication de ceux-ci dans les revues scientifiques. Mais la plupart admettent que des réunions de ce genre peuvent être très profitables quand elles sont bien organisées avec sens critique, qu'elles ont un objet précis dans l'intérêt d'une catégorie définie de scientifiques et que l'édition de leurs comptes rendus est compétente.

Examinons le volume à la lumière de ces remarques. Les divers chapitres proviennent de conférences hors programme et d'une discussion tenue à l'Université de Chicago entre novembre 1956 et mars 1957 sous les auspices du Programme Inter-universitaire Chicago-Francfort. A en juger par ce livre, le profane et le spécialiste doivent avoir grandement bénéficié de ces réunions. La plupart des auteurs sont des autorités de premier plan dans des domaines à progression rapide. Il est moins clair, toutefois, que la publication des conférences ait été profitable. Le volume rendra service au lecteur courant parce qu'il traite d'une grande variété de sujets très représentatifs de la biologie moléculaire et à ce titre mérite de trouver place dans toute bibliothèque complète de biologie. S'il avait paru plus tôt, il aurait pu être aussi utile au spécialiste. Bon nombre de chapitres étaient excellents au moment de leur rédaction. L'étude du rôle de l'acide ribonucléique dans la synthèse des protéines a toujours grande valeur, mais les articles d'autorité sur la structure et la synthèse du DNA sont malheureusement dépassés. La progression est si rapide dans ce domaine que, s'ils tardent plus de quelques mois à paraître, leur utilité devient discutable. La note sur les particules microsomiques ajoutée par l'auteur en fin de chapitre illustre bien ce point: «la connaissance des particules se développe si rapidement que j'ai l'impression d'entrer dans un musée en me relisant . . .» Quel dommage que ce volume qui aurait pu être si intéressant ait perdu tant de valeur à cause d'un retard de publication.

M. H. F. WILKINS

MÉTALLURGIE

RAYNOR, G. V.: *The Physical Metallurgy of Magnesium and its Alloys*. Pp. IX + 531. Pergamon Press Ltd., Londres. 1959. 75s.

Le Professeur Raynor se propose ici de tirer la métallurgie complète d'un métal à partir de quelques concepts physiques fondamentaux. Dès le début, il conseille de chercher ailleurs les derniers détails de la technologie du magnésium, car il ne les cite que s'ils servent à l'étude théorique. L'ouvrage est, pour ainsi dire, sa profession de foi et l'on devine que c'est autant la position stratégique du magnésium dans la table périodique que ses qualités pour l'ingénieur qui le lui firent choisir pour cette étude théorique fondamentale. Ce corps est particulièrement bien indiqué parce qu'il est plus complexe d'un degré que les éléments monovalents simples et illustre mieux, par conséquent, les progrès récents de la théorie métallurgique physique. Il est moins complexe, d'autre part, que les métaux du groupe IVa, par exemple, qui ne se sont pas prêtés jusqu'ici à un traitement théorique similaire.

Après l'introduction et une étude condensée des propriétés physiques du magnésium pur, on trouve cinq chapitres sur la métallurgie physique générale du métal et de ses alliages, à savoir: figuration électronique du magnésium solide, facteurs théoriques causant les déviations des alliages de magnésium dans l'espacement des réseaux par rapport à la loi de Vegard, comportement du corps en alliage, structures cristallines de phases d'alliage intermédiaires type par type et comportement de déformation. Les 9 chapitres restants étudient en détail les faits connus des alliages de magnésium en suivant la table périodique groupe par groupe. Ils traitent aussi de divers métaux, de systèmes formés avec des éléments et composés gazeux et le dernier chapitre résume l'influence de l'alliage sur les propriétés mécaniques du magnésium.

Le métallurgiste physicien sera captivé par cet essai d'explication de comportement connu d'un métal industriel relativement nouveau par des méthodes théoriques. Espérons qu'un jour le Professeur Raynor nous rendra le même service pour les métaux récents encore plus complexes.

J. W. RODGERS

MATHEWSON, C. H. (publié par, en collaboration avec l'*American Zinc Institute*): *Zinc: the Science and Technology of the Metal*. Pp. XII + 721. Reinhold Publishing Corporation, New-York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1959. 156s.

Le Dr C. H. Mathewson et ses collègues distingués méritent tous nos compliments pour cet excellent ouvrage, qui offre la première étude métallurgique complète du zinc. Bien que le sujet ait déjà été traité abondamment dans les revues de technologie, c'est le premier exemple de coopération entre 45 spécialistes éminents pour réunir en un seul volume une telle richesse d'information.

Outre la technologie fondamentale du métal, les quatorze chapitres étudient l'historique, l'économique, la géologie, le traitement du minerai, le raffinage, l'alliage du zinc, son emploi pour l'extraction d'autres métaux, ses composés, son importance biologique et son emploi en agriculture. L'envergure de l'étude et le grand nombre d'ouvrages cités par les auteurs de divers chapitres rendront le livre indispensable à tous ceux qui s'intéressent à la technologie du zinc et à ses emplois, actuels ou possibles, dans l'industrie.

Les critiques sont plutôt des critiques d'omissions que d'erreurs. On regrette, par exemple, l'absence des progrès plus ou moins décisifs du passé qui

fournissent souvent l'inspiration des développements à venir. Mais n'oublions pas que le volume devait rester maniable. L. J. DERHAM

HISTOIRE DE LA SCIENCE

NEEDHAM, J. (avec la collaboration de WANG, L.): *Science and Civilization in China*, Vol. III, *Mathematics and the Sciences of the Heavens and the Earth*. Pp. XLVII + 877. Cambridge University Press, Londres. 1959. 150s.

Œuvre capitale, car ceux qui comprennent à la fois le chinois et les sciences sont en petit nombre. Le volume traite de mathématiques, d'astronomie, de géographie, de sismologie etc., sciences dans lesquelles les Chinois firent d'importantes découvertes. Mais c'est surtout en mathématiques qu'ils montrèrent, et montrent toujours, des dons remarquables. Dès avant l'ère chrétienne et avant l'invention des chiffres arabes et hindous, ils avaient un système de placement des chiffres pour en marquer la valeur. Pour le calcul, les nombres étaient écrits de gauche à droite, comme chez nous, mais dans les documents ils étaient placés en colonnes de haut en bas et de droite à gauche comme des phrases. Chaque place avait un nom, comparable à nos «dizaines», «centaines», «dizaines de mille» etc., qui était omis dans les calculs. Le nombre zéro paraît d'abord comme un point ou un cercle dans les documents indonésiens du VIIe siècle. Auparavant, on laissait simplement un espace libre dans le nombre et il semble que le zéro provienne du cercle encore en usage dans certains livres chinois pour marquer la fin d'un paragraphe ou d'une partie plutôt que de l'espace vide employé autrement dans ce but. Nous sommes donc redevables aux Chinois de la valeur de la position des chiffres dans le nombre et peut-être aussi du zéro. A la p. 146, on trouve 14 inventions mathématiques élémentaires qui leur sont dues.

En astronomie, ils étaient aussi au premier rang. Au second siècle de notre ère, ils connaissaient, dit-on, 14 000 étoiles. L'*Almageste* n'en compte que 1 028 et l'Europe du Moyen-Age n'avait pas de cartes célestes alors qu'un exemplaire chinois de Xe siècle existe encore.

L'ouvrage offre une avenue nouvelle dans un terrain immense et résume des recherches encyclopédiques. L'énorme bibliographie de 118 pages est impressionnante, mais on se demande si l'examen critique des sources a été suffisant dans tous les cas. L'auteur accepte, par exemple, les conclusions de Tung Tso-pin sur la Chine du second millénaire avant J.-C. sans se douter que ce paléographe éminent n'étant pas très au fait de l'astronomie et de la science du calendrier, sa reconstitution des dates et du calendrier Yin reposent sur des données inexactes. Même un encyclopédiste ne peut examiner en détail tous les documents originaux. Il semble que l'auteur ait eu des collaborateurs chinois d'un nationalisme trop ardent. H. H. DUBS

DEDRON, P. et ITARD, J.: *Mathématiques et mathématiciens*. Pp. IV + 433. Magnard, Paris. 1959. 19,80 Nfr.

Ce volume esquisse le développement des mathématiques depuis leurs tout premiers débuts jusqu'à la fin du XVIIIe siècle environ. La partie historique, centrée sur l'œuvre des grands «législateurs» du sujet, occupe les deux tiers de sa longueur. La section finale permet l'étude plus méthodique de questions particulières telles que les divers systèmes historiques de numération et de notation, l'équation du second degré et les trois problèmes classiques de la géométrie grecque. Le texte est entremêlé de résumés des grands classiques des mathématiques et de courts extraits représentatifs.

On note une préférence compréhensible pour les mathématiciens français, le XVIIe siècle étant représenté par Fermat, Roberval, Descartes, Desargues et Pascal avec quelques autres brièvement cités; mais Newton et Leibniz ont la place d'honneur qu'ils méritent parmi les pionniers de l'analyse «classique» du XVIIIe siècle.

Le livre est, techniquement, du domaine des études secondaires; mais il servira aussi à élargir l'horizon de l'étudiant et offrira au professeur un programme de cours sur l'histoire des mathématiques. Il est bien pourvu de portraits, de reproductions de pages et d'illustrations et de figures géométriques. A. ARMITAGE

HAYNES, W.: *Brimstone: The Stone that Burns*. Pp. XIX + 308. D. Van Nostrand Co. Ltd., Londres. 1959. 45s.

Ce volume est basé sur l'édition de 1942, mais le début de l'historique du soufre a été résumé et la partie relative au temps de guerre complétée; les développements d'après-guerre (dont la récupération du soufre à partir de gaz naturel «acide») se trouvent surtout dans de nouveaux chapitres. Herman Frasch (1851–1914) quitta son Allemagne natale pour l'Amérique en 1871, s'intéressa surtout au pétrole et devint chimiste conseil à Cleveland. Ayant fait breveter des procédés de désulfuration pour la paraffine solide et liquide, il fut nommé premier directeur de recherches de la *Standard Oil Company* et mit au point, par la suite, une méthode d'extraction du soufre des calottes calcaires qui surmontent les dômes salins des terrains pétrolifères. De l'eau en quantité illimitée et un combustible bon marché étaient nécessaires, car on fondait le soufre *in situ* et on le retirait à l'aide de pompes. Peu de temps après, toutefois, l'air comprimé remplaça les pompes. Extrait et raffiné en une seule opération, le soufre de Frasch offrait une concurrence sérieuse à celui des mines de Sicile. On exploita ensuite les gisements autour du Golfe du Mexique, en Louisiane, au Texas et à Vera-Cruz. On sera captivé par ce récit d'exploitation minière à l'eau chaude sous marais, lac et océan; récit de courage, de persévérance et d'endurance. Le livre est abondamment illustré et annoté. Il y a aussi des statistiques sur la production et les usages du soufre. F. W. GIBBS

Brèves notices bibliographiques

(Ces notices sont plus descriptives que critiques et sont destinées à donner une indication générale de la nature et de la portée des ouvrages.)

WHITROW, G. J.: *The Structure and Evolution of the Universe*. Pp. 212. Hutchinson & Co. (Publishers) Ltd., Londres. 1959. 21s.

Ce nouvel ouvrage devait être la seconde édition de *Structure of the Universe*, publié par l'auteur en 1949, mais l'astronomie et la cosmologie ont fait tant de progrès que le livre a été presque entièrement refait. Les connaissances acquises par la radio-astronomie et le télescope de Palomar sont étudiées. On trouve aussi, du côté théorique, les notions modernes sur les problèmes que pose le développement de l'univers.

THOMPSON, H. W., publié par: *Advances in Spectroscopy*, Vol. I. Pp. IX + 363. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1959. 85s.

Tous les aspects de la spectroscopie doivent être traités dans cette série, afin de tenir les chercheurs au courant des progrès faits dans les autres branches du sujet. Il y a des chapitres sur le spectre des radicaux polyatomiques libres, sur la spectroscopie dans l'ultraviolet sous vide, sur celle de Raman à forte résolution et deux chapitres sur la spectroscopie à l'infrarouge.

SEMENOV, N. N.: *Some Problems in Chemical Kinetics*, Vol. II (traduit par M. Boudart). Pp. VII + 331. Princeton University Press; Oxford University Press, Londres. 1959. 36s.

Parmi les questions traitées ici, on note la concurrence entre les réactions en chaîne et les réactions entre molécules saturées. Il y a un certain nombre de chapitres sous l'en-tête général de réactions à chaîne ramifiée et explosions thermiques. Les suppléments complètent le volume I et traitent de la méthode du complexe activé et des calculs mécaniques quantiques de l'énergie d'activation.

FRANCIS, G. E., MULLIGAN, W. et WORMALL, A.: *Isotopic Tracers* (2e édition). Pp. XXI + 524. The Athlone Press, Londres. 1959. 52s. 6d.

Les progrès réalisés depuis 1954 sur les principes et emplois des marqueurs isotopiques ont nécessité la révision poussée de la première édition, maintenant très augmentée. Les travaux récents sur l'instrumentation et sur l'emploi des techniques de scintillement et de comptage de gaz sont spécialement cités et il y a de nouvelles sections sur la vitamine B_{12}, la photosynthèse, l'analyse de la radioactivation et le marquage par «self-radiation» au tritium. On trouve aussi un nouveau chapitre sur l'étude cinétique des processus biologiques et l'exposé des dangers et précautions à prendre a été mis à jour.

NORD, F. F., publié par: *Advances in Enzymology*, Vol. XXI. Pp. V + 521. Interscience Publishers Ltd., Londres. 1959. $12,50.

Ouvrage fait de 8 études qui traitent des sujets suivants: métabolisme des mitochondries, mécanisme de l'activation des enzymes par les ions métalliques, réactions enzymatiques dans la synthèse des purines, biosynthèse et rôle des pigments caroténoïdes et synthèse enzymatique des pyrimidines. Le volume renferme aussi des index pour l'ensemble des volumes I à XXI.

ANDREWES, C. H., publié par: *British Medical Bulletin*, Vol. XV, No. 3. *Current Virus Research*. Pp. 175–250. The British Council, Londres. 1959. 20s.

Le dernier compte rendu de virologie paru dans ce bulletin date de 1953, et les progrès les plus frappants ont été réalisés dans des domaines assez différents de ceux qui y figurent. On trouvera ici des articles sur l'interférence des virus et l'interféron, les progrès récents dans la virologie du trachome, de la conjonctivite à inclusions et maladies voisines, sur les entérovirus et la rougeole. Il y a deux études épidémiologiques, l'une sur la grippe et ses complications et l'autre, sur la myxomatose.

KARRER, P.: *Lehrbuch der organischen Chemie* (13e édition, revue et augmentée). Pp. XX + 1057. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 1959. DM. 60.

Ce manuel n'a pas besoin d'être présenté aux professeurs et étudiants de chimie. Le fait qu'il en est maintenant à sa 13e édition et a été traduit en 6 langues étrangères depuis sa parution en 1927 le prouve assez. Le texte a été profondément remanié, avec la collaboration de nombreux spécialistes éminents du domaine en question.

GRABAR, P. et MIESCHER, P., publié par: *Immunopathology. The First International Symposium*. Pp. XV + 520. Benno Schwabe & Co., Bâle. 1959. 65 frs suisses.

Les articles présentés à cette conférence tenue à Bâle en 1958 sont reproduits ici dans leur langue originale: français, anglais ou allemand. Il y a aussi un bref résumé de tous les apports importants à la discussion. Les 43 articles ont trait à deux thèmes principaux: phénomènes immunologiques fondamentaux au point de vue des réactions inflammatoires, et applications cliniques principales de l'immunopathologie.

TROUP, G.: *Masers*. Pp. X + 108. Methuen & Co. Ltd., Londres; John Wiley & Sons Inc., New-York. 1959. 13s. 6d.

L'étude des dispositifs employés pour l'amplification et l'oscillation des microondes par émission et radiation stimulée, connus sous le nom de «masers», est nouvelle, et ce volume est un des premiers à paraître sur le sujet. Il décrit le phénomène d'émission stimulée et les méthodes employées pour obtenir les conditions nécessaires à l'amplification. Une des sections traite de l'influence des effets physiques sur le fonctionnement des amplificateurs; l'émission stimulée est étudiée ainsi que les amplificateurs à cavité résonnante.

POUCHER, W.: *Perfumes, Cosmetics and Soaps*, Vol. II (7e édition). Pp. XII + 453. Chapman and Hall Ltd., Londres. 1959. 75s.

Cette nouvelle édition offre une classification nouvelle des parfums, basée sur la volatilité de produits aromatiques très divers. Le volume est consacré aux parfums de toutes sortes et, après en avoir esquissé l'historique, étudie la production des parfums naturels, l'achat et l'emploi des absolus de fleurs et donne la préparation d'un grand nombre de parfums particuliers.

Notes biographiques sur les collaborateurs

M. B. GOTTLIEB
B.S., Ph.D.,

Naquit à Chicago, Illinois, en 1917 et étudia à l'Université de la ville. Fut assistant de recherches à l'Université d'Harvard de 1943 à 1945, chargé de cours de physique à l'Université de Chicago de 1945 à 1946 et assistant de recherches de physique de 1946 à 1950. Professeur-adjoint de Physique à l'Université d'Iowa de 1950 à 1954, il y fit des recherches sur les rayons cosmiques. Il est attaché depuis 1954 à l'Université de Princeton en qualité de directeur-adjoint du «Projet Matterhorn».

E. N. DA C. ANDRADE
D.Sc., Ph.D., LL.D., F.R.S.,

Est né à Londres en 1887 et a étudié aux Universités de Londres, Manchester et Heidelberg ainsi qu'au Laboratoire Cavendish de Cambridge. Il enseigna quelques années à l'*Artillery College* (appelé maintenant *Royal Military College of Science*). Fut nommé en 1928 à la chaire Quain de Physique à l'Université de Londres. En janvier 1950, il fut nommé Directeur de la *Royal Institution of Great Britain* et du *Davy Faraday Research Laboratory*, mais en 1952 donna sa démission. Il est Membre Correspondant de l'Académie des Sciences et Membre d'Honneur de la Société Française de Physique.

D. C. MARTIN
C.B.E., B.Sc., Ph.D., F.R.I.C., F.R.S.E.,

Né en 1914, étudia à l'Université d'Edimbourg où il fit des travaux de chimie physique. Il fit partie pendant la guerre du *Directorate of Scientific Research* au Ministère des Fournitures où il fut, notamment, secrétaire du comité de recherches chimiques sur les explosifs. En 1945–46, fut secrétaire général de la *Chemical Society* et, depuis 1947, est secrétaire-adjoint de la *Royal Society*.

M. C. SHELESNYAK
B.A., Ph.D.,

Né à Chicago en 1909, étudia à l'Université du Wisconsin et à *Columbia University* à New-York, où il devint par la suite Assistant de Recherches à *Mount Sinai Hospital* et *Beth Israel Hospital*. En 1950, devint Professeur de Physiologie des glandes endocrines et de la reproduction à l'Institut scientifique Weizmann d'Israël. Ses travaux concernent surtout la physiologie de la reproduction, de l'adolescence et, en particulier, le phénomène de la nidation.

H. C. UREY
B.S., Ph.D., D.Sc., membre étr. R.S.,

Né à Walkerton, Indiana en 1893, étudia aux Universités de Montana et de Californie. Fut Professeur-adjoint de Chimie à *Columbia University* de 1929 à 1934, occupa cette chaire en titre de 1934 à 1945, puis devint Professeur de Chimie à l'*Institute of Nuclear Studies* de Chicago, où il resta jusqu'en 1952. Il y a occupé la chaire Ryerson de 1952 à 1958 et occupe actuellement une chaire spéciale de chimie à l'Université de Californie. Il a fait paraître des articles sur les spectres d'absorption et la structure des molécules, sur la découverte du deutérium, les propriétés et la séparation des isotopes et les problèmes chimiques de l'origine de la Terre. Reçut le Prix Nobel de Chimie en 1934.

A. R. LONGWELL
B.A., Ph.D.,

Naquit à Buffalo, New-York, et étudia au *Southwest Missouri State College* et à l'Université du Missouri. De 1957 à 1959 elle fut adjointe permanente de recherches à l'*Argonne National Laboratory* de Lemont, Illinois. Est actuellement à l'Institut de Génétique de Lund, en Suède. Ses travaux portent sur la cytologie et cytochimie de l'aneuploïdie dans les végétaux et les tumeurs, avec accent particulier sur la production de nucléoles par certains genres de chromosomes.

M. MOTA
Eng° Agrónomo,

Né à Lisbonne en 1922, fit ses études à l'Université. Dirigea le Département de Cytogénétique au Centre de Reproduction végétale d'Elvas (Portugal) de 1948 à 1955. Il est depuis au Centre National d'Agriculture de Sacavém, après avoir passé deux ans, de 1957 à 1959, à l'*Oak Ridge National Laboratory*, dans le Tennessee et à l'*Argonne National Laboratory*, Illinois. Il s'intéresse surtout à la production de polyploïdes et d'amphiploïdes chez les plantes de culture et aux problèmes de la morphologie, de l'ultrastructure et de la dynamique des chromosomes.

W. O. JAMES
M.A., D.Phil., F.R.S.,

Naquit en 1900 et fit ses études aux Universités de Reading et Cambridge. Il travailla d'abord à Rothamsted sur la nutrition des végétaux en potassium et fut successivement Préparateur et Chargé de cours de Botanique à l'Université d'Oxford et, à partir de 1927, dirigea une école d'enseignement et de recherche sur la nutrition et la respiration. Il est maintenant Professeur de Botanique et Directeur du Département de Botanique et de Technologie végétale à l'*Imperial College*, Londres. Il fait partie de la rédaction du *New Phytologist* et a fait paraître: *The Biology of Flowers* (en collaboration avec A. R. Clapham), *Background to Gardening*, *Plant Respiration*, quelques manuels et de nombreux articles sur diverses branches de la botanique.

RACHEL M. LEECH
B.A.,

Naquit en 1936 et étudia la botanique à *St Hilda's College*, Oxford, à l'aide des bourses Christopher Welch et Naples; elle travailla de 1957 à 1958 à la *Stazione Zoologica* de Naples. Elle étudie depuis la physiologie du métabolisme végétal à Oxford et à l'*Imperial College* de Londres.